把互联网送上太空轨道

探索IP网络技术在空间科学中的应用潜力

□ Daniel Floreani Lloyd Wood

2004年10月4日，伯特·鲁坦设计的“太空飞船一号”飞行器以超过100公里的飞行高度，成为世界上第一个到达太空边缘的私人开发的载人飞船，这一纪录被载入史册。

太空探索过去是由政府支持，自上而下组织进行的，它必须依靠高度专业的、成本昂贵的部件和系统来完成。而现在，它却成为一项私人也可以参与的民间事业。由于政府不能够负担毫无限制的预算开支，或者说不愿意为航天事业毫无限制地拨款，也由于新一代太空爱好者掌握了空间技术和火箭推进的原理，因而商业市场已经越来越多地参与到了空间科学探索活动中。

电子支付系统PayPal的共同创始人之一的艾伦·马斯克创办了一个名为SpaceX的公司，开发了一系列的发射工具，目的是降低进入太空的成本同时提高进入太空的可靠性。SpaceX公司之前设计的两个发射工具“猎鹰I号”和“猎鹰V号”火箭分别能够将大约670公斤和6020公斤的载荷送进近地轨道。“猎鹰I号”的定价为每次发射590万美元，外加付费载荷的成本和与距离相关的费用，与政府空间计划的巨大开支相比，该运载工具已经成为性价比很高的一种太空旅行工具。

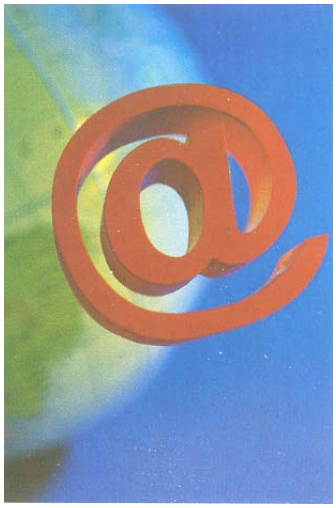
为了降低发射火箭的成本，SpaceX公司的马斯克想到了基于标准的网络技术（一个早已成熟的技术）。在2003年发表在Wired News上的一篇文章中，马斯克说：“在发射工具中，人们一般要用像人的胳膊那么粗的一束束串行电缆来进行通信，我们认为没有必要这样做，所以我们安装了一个以太网系统来改进这种通信方式。”在这一领域，作为领先的网络解决方案供应商，思科通信技术可以发挥重要的作用。

思科与空间探索

思科早已把目光对准了空间探索的研究。在2003年9月，思科3251 Mobile Access路由器被发射进近地轨道，搭载在由英国“萨里卫星技术有限公司”建造和操作的“英国灾害监测联合体”（简称“UK-DMC”）卫星上。该卫星是一组5个近地轨道卫星之一，能够提供地球环境的大型多光谱图像，供国际灾害监测和各种不同的民用与商用使用。这些卫星和地面站的连接，形成一个世界范围的IP网络，延伸进广袤的太空中。

这是思科的商用硬件首次被带到并留在了太空中。“思科全球空间项目部”主管Rick Sanford表示，该项目的最终目的是降低建造卫星的成本，同时提高它们与地球上成熟的数据网络的通信能力，特别是那些基于互联网进行通信的网络。Sanford说：“一般来说，建造卫星是一个从头做起的事情。我们在努力尝试能否将建设互联网所用的开放标准和商业化生产设备用到卫星上。”

Sanford表示，太空路由器针对的是未来的卫星宽带技术。它可以提供无所不在的广域数据网络服务，而且比现有的卫星数据服务更加可靠。



政府和航空业也对使用现成的商用（COTS）计算和网络技术很感兴趣。

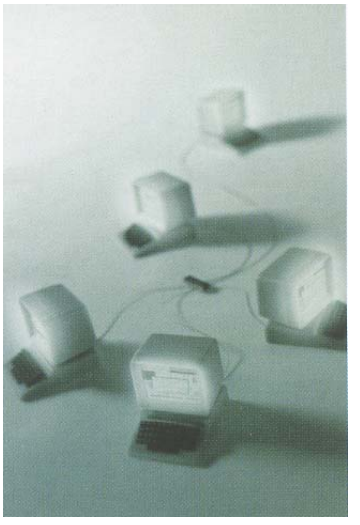
“NASA 和国防部目前正在制定下一代的太空网络架构。这个新的架构将利用互联网协议确保地面（包括陆地、海洋和大气层）和卫星网络的互操作性”，NASA 的 Glenn 研究中心的太空互联网技术项目经理 Phillip Paulsen 在一份报告中这样写道。这个位于克利夫兰的研究中心从 20 世纪 90 年代中期以来一直致力于开发用于太空应用的互联网技术。

Phillip 还指出：“目前的开发活动在本质上都是互相协作的，而且采用了现成的、符合开放标准的商用网络设备，以便降低成本和确保与未来商用系统的兼容性。”

为了降低成本，缩小项目的时间跨度，提高硬件的灵活性和功能，新一代卫星制造商和发射服务公司有必要采用功能更强、智能化水平更高的开放标准。这些新的卫星中将有很多采用最先进的、刚刚问世的商用技术和子系统，从而使人们能够根据需要，迅速地建设卫星基础设施。

建立通信标准

基于标准的通信是扩大卫星服务市场的一个重要构成部分。如果把 IP 作为空间通信的标准协议，用于承载卫星上的设备间通信以及卫星与地面站之间的通信，空间通信就可以逐渐具备地面通信的各种特性。现在，卫星服务提供商维持它们自己的服务和链路，每个链路可能只用于一项服务，如寻呼服务、固定电话、移动电话或电视服务等。未来，有了 IP 网络，就可以实现融合服务。运营商将能够用一种基于 IP 的连接来承载多项服务，支持多种不同的应用。例如，一个单独基于太空的互联网连接就有可能同时支持语音流服务、电话服务和数据服务。使得我们不再需要为卫星无线电广播、电视和电话服务提供单独的专用硬件。



一个基于 IP 的网络基础设施还能大大降低服务的门槛，从而扩大市场。如今，选择一个卫星服务提供商是一个漫长的、复杂的过程，用户（一般为某个大公司、某个国家的政府或某个军事机构）在选择过程中必须考虑以下因素：

覆盖范围：卫星服务的覆盖范围可以小到只有美国的一个州（甚至更小），也可以大到几乎占地球表面积的三分之一。一般来说，覆盖范围越大，平均每个用户可分享的链路容量越小。

服务要求：服务一般是固定的或移动的。移动服务要求有便携的或移动的碟形天线，直径经常小于 1 米。固定地面站可以大一些，碟形天线的直径从 2.5 米到 8 米不等，安装和运营经常需要花费数百万美元。在服务方面需要考虑的另外一个问题是所使用的无线电频率，每个波段有不同物理特点，如对“降雨衰减”的敏感性以及穿透云层和树叶的能力等。

可供使用的带宽：这一点由终端的大小和它们使用的无线电频率决定。真正的移动终端（尺寸小于 30 厘米）采用最新技术，典型情况下可提供每秒 64 Kbit 的双向速度。便携式 VSAT 终端典型情况下可提供高达每秒 512 Kbit 的速度，但出于成本考虑，其所提供的速度经常在每秒 64 Kbit和 256 Kbit 之间。放在拖车上的终端（2.5 米碟形天线）能提供每秒 1Mbit-2 Mbit 的速度，更大的静止碟形天线能提供 8 Mbit-60 Mbit 及更高的速度。

无线电频率和介质访问机制：如今，能够充分利用共享卫星链路的介质访问机制和频率再使用方案基本上都是专有技术，两个供应商之间几乎不能再使用设备，或者说来自多个供应商的设备几乎不能共享一个卫星链路。由于卫星服务的用户越来越多地要求进行对称通信，以处理返回的数据或视频，而不是像现在这样，接受非对称的广播服务，所以，需要用于容量再使用的更尖端的分配机制来支持这些需求，充分利用卫星链路。

设置一个卫星链路不是那么简单的。我们将这一过程与使用基于互联网连接的过程相比较，在后一个过程中，用户需要从一家本地的互联网服务提供商（ISP）那里选择一个合适的连接速度。要使卫星通信像地面上互联网那么容易，必须解决一些关键的难题。最大的障碍是，在介质访问和频率方面没有共同的标准。各个公司必须共同努力，开发一个基于标准的技术，能够让多个不同系统无缝协同工作。一旦实现了这种标准化，卫星用户将不必担心链路另一端的一个地面终端在访问机制方面是如何配置的，也不必担心其信息流将从哪里或怎样返回地球。IP 分组甚至还可以在太空中被路由到正确的目的地，就像现在在地面上所实现的一样。

实现卫星间“互连”

卫星服务提供商已看到地面服务提供商在向基于 IP 的融合网络过

渡，他们开始对在太空中使用 IP 网络技术表现出浓厚兴趣，以拥有更大的带宽，并节约管理和运营成本。卫星互联网服务提供商也想和有线互联网服务提供商一样，使用成熟的网络管理工具。

传统上，通信卫星一直是一组一组转发器的支持平台，这些转发器接收一个无线电频率的信号，将其放大或再生，然后将一个频率较低的信号发送回地球。这便产生一个我们所熟悉的“弯管架构”。

例如，两艘共同行动、但来自不同国家的军舰在用电话进行联络，但由于每艘军舰都用自己国家的专用卫星（或转发器）进行通信，所以它们之间的连接只能在两个网关地面站之间间接实现。一个信号不是直接在军舰和卫星之间传递，而是先从军舰到本国的专用卫星，再从卫星到地面站，穿过一个洲际链路，通过地面站再传达到另一个专用卫星，最后到达另一艘军舰。这一过程路径漫长、消耗大量网络容量并容易导致延迟。同样，即使是同一卫星上不同转发器之间的信息流也需要在地面上进行交换。

如果卫星上实现了路由和交换功能，而且卫星具备了标准化的“卫星间链路”（ISL）接口，那么这种“IP 语音”（VoIP）流就可以很方便地从太空中的一个卫星直接传输给另一个卫星，而不会带来延迟及其他的传输开销，还可以减少对地面设施的依赖。

目前，新型的卫星已经在制造当中，它们上面搭载交换设备，可以让数据帧直接从一个转发器发送给另一个转发器，而不需要返回地面进行交换。这方面的例子包括由 Hispasat 公司制造的 AmerHis 卫星，该公司是欧洲和美洲空间分割容量领域一个领先供应商。Intelsat 9 系列卫星在转发器之间有一个可重新配置的交换矩阵，用来增加总体上的灵活性。“日本宇宙航空研究开发机构”（JAXA）正在建造“宽带网络互联工程测试和演示卫星”（WINDS），该卫星上搭载了一个单元交换机，运行速度可以达到 155Mbit/s。

然而，这些交换设备仍然由地面上的控制器控制。当卫星上也有了路由器时，它就可以将交换延伸到真正的第三层星载 IP 路由，甚至在卫星之间进行路由。

最后，随着使用更多星载通信技术的卫星的问世，将会出现关于卫星通信架构的新方法，它们以一群运行在地球静止轨道上的体积更小、成本更低的卫星为基础，利用“卫星间链路”（ISL）进行通信。那时，一群中的一个或多个“核心”卫星就有可能与另一群实现互连。这些“核心”卫星可将各组卫星连接在一起，形成一个由高速的自由空间光链路组成的地球静止轨道“骨干”网，与地面互联网中的光纤网络类似。

一个世界，一个网络

开发一个用在太空中的基于标准的基础设施，不仅可让用户和服务提供商改变地面设备利用卫星进行通信的方式，而且还能使数据存储、传输和使用的方式发生革命性变化。

一个基于卫星的 IP 通信网络可在全球范围内将服务延伸到世界上任何地区的用户。这对将要发展卫星技术，向农村人口提供普遍的宽带互联网服务的国家政府很重要。它会有助于提高农村人口的生活质量，其作用就如同为农村提供邮政和电力服务的政府计划一样。

今后，用户将会享受到更便宜的、到处都能得到的太空服务。新的太空—地面融合网络架构将会建立起来，在这种架构中，用户不需要知道或关心他们的信息分组是如何被路由的。

展望网络的未来，每个载人或不载人的飞船或航天器都将承载着互联网上的有效节点。“一个世界，一个网络”不再是梦想，地面和太空通信将一起形成一个无缝的普遍服务体系。

【关于作者】

Daniel Floreani 是思科全球防卫、空间和安全部空间项目组的一名网络设计师。他在南澳大利亚大学电信研究学院获得博士学位，专业为战术包无线电联网的模拟。

Lloyd Wood 是思科全球防卫、空间和安全部的一名空间项目经理，负责思科第一个用在轨道上的路由器。他在英国萨里大学通信系统研究中心获得博士学位，专业为卫星群的联网。