

小尺寸卫星通信解决方案

Brad Hall和Wyatt Taylor
ADI公司

摘要

传统Ka波段地面站卫星通信系统依赖于室内到室外配置。室外单元包含天线和块下变频接收机，接收机输出L波段的模拟信号。该信号随后被传送到室内单元，室内单元包含滤波、数字化和处理系统。Ka波段的干扰信号通常较少，因此室外单元的主要任务是以线性度为代价来优化噪声系数。室内到室外配置很适合地面站，但难以融合到小尺寸、重量轻、低功耗(SWaP)的环境中。若干新兴市场推动了对小尺寸Ka波段接入的需求。无人机(UAV)和步兵若能接入此类信道，将大大受益。对于无人机和步兵，无线电功耗直接决定电池寿命，进而决定任务时长。此外，过去专门用于空中平台的传统Ka波段信道，现在正被考虑用于提供更广泛的接入。这意味着，传统上仅需要下变频单个Ka信道的空中平台，现在可能需要工作在多个信道上。本文将概述Ka波段应用面临的设计挑战，并说明一种支持此类应用实现低SWaP无线电解决方案的新架构。

简介

卫星通信行业的最新趋势显示，信号传输正从X波段和K_a波段推进到Ka波段。这在很大程度上是因为该频率范围内很容易实现带宽更宽的收发器。与此同时，X、K_a和Ka波段中的发射机总数在不断增加。过去，Ka波段中的发射机数量非常少，但随着这种趋势的发展，此范围内的频谱会变得越来越拥堵。这给此类系统的收发器设计提出了挑战，尤其是针对低SWaP市场，这些市场的尺寸和功耗要求会限制可达到的选择率。由于选择率压力越来越大，人们自然会折中考虑，降低选择率要求。某些情况下，例如频谱环境不那么明确的移动平台中，这种折中是有意义的。但在其他可以非常精确地预测干扰的平台中，选择率仍将是最高优先目标。

室内和室外概述

在典型的永久性卫星通信设施中，室外设备和室内设备在功能上是分开的。室外设备由Ka波段天线、低噪声块(LNB)和下变频级组成，其将Ka波段信号下变频为L波段信号，然后发送到室内单元。LNB和下变频级通常合并为一个单元，其输出端利用同轴电缆或光纤将信号发送到室内以供进一步处理。在天线端下变频至1 GHz到2 GHz信号可防止连接到室内单元的电缆产生额外损耗。室内单元由L波段接收机和解调器组成。此单元负责对信号做进一步滤波、数字化和处理。此外，它与地面传输网络相连，以便将信号发送到中央处理地点。

在发射侧，波形产生发生在室内L波段设备中。信号通过同轴电缆或光纤发送到室外设备。室外设备包含如下器件：一个块上变频器(BUC)，用以将信号从L波段变频至Ka波段；一个HPA，用以将信号放大到所需的发射功率水平；以及一根天线。如果接收机和发射机共用该天线，则还会有一个双工器，用以将发射机信号和接收机信号隔离开来。

尺寸和功耗

由于是永久设施，固定安装地点中的器件通常不是针对低SWaP而设计。根据其特性和滤波要求，室外LNB可能有10" × 4" × 4"那么大。它通常尽可能靠近天线馈线放置，以优化系统噪声系数。室外BUC通常有相同的尺寸，而室外HPA可能非常大，具体尺寸取决于输出功率要求。室内设备包含一个19英寸宽机架安装解调器，它可以同其他机架安装调制解调器或处理设备叠放在一起。此设备负责完成接收和发射卫星通信信号的任务，但其SWaP效率可能不是很高。

低SWaP市场

虽然全球移动通信发展的深化，以及人们期望即便在最偏远地区也有通信和数据链路可用，市场对降低SWaP的呼声越来越高。

近年来，政府和商业对无人机的使用越来越多。无人机可用在距离其基地超过数百英里的偏远地区，日益依赖卫星通信来发送收集到的数据及接收操作员指令。此外，我们看到商业世界开发的无人机用途越来越多，其中许多既需要与卫星通信，也需要与其他航空器通信。这导致使用的频谱更高，而以前对高频谱的使用非常少。随着频谱变得越来越拥挤，滤波、频率规划和灵活性变得越来越重要。

低SWaP卫星通信持续增长的另一个市场是手持式和便携式领域。除安全通信外，人们还希望发生和接收其他更多内容，这导致对手持设备的需求不断增加。人们渴求快速发送数据，包括照片、音频文件、地图和其他数据，以及捕获带宽更宽的信号。这要求提高瞬时带宽，而外形尺寸则保持不变或比上一代更小，并且要降低功耗以免携带笨重昂贵的电池包。战术车辆自身的功率有限，空间较小，故而在存在类似的SWaP限制。

另外，与波形无关的系统有很多潜在好处，可以进行配置以使其在任何给定波形环境中发挥作用。在当今的一些军用系统中，航空器上需要三到五个不同的收发器系统以帮助不同系统相互通信。将这些系统合并成一个与波形无关且具有软件定义灵活性的系统，可以让尺寸缩小5倍。

低SWaP的设计挑战

来自低SWaP市场的需求不断增加，但还有许多挑战需要克服。举例来说，单滤波这一项要求就会使此类系统的尺寸增加不少。随着频率范围提高到Ka波段，当下变频到1 GHz中频(IF)时，越来越难以实现同样的抑制性能。这就需要增加滤波器数量或增大滤波器尺寸。而且这些滤波器并不便宜，每个通常要花费200美元或更多。就此而言，较高中频会很有利，因为这样可以降低滤波器要求。

此外，在低SWaP市场中，网络的不同节点以网格方式通信，部分网络没有地面基础设施。由于没有一个中央位置来执行处理，因此各收发器必须能够处理收到的数据。传统卫星通信市场的天线与处理器之间是分离的，但在低SWaP市场，人们希望数字化处理和FPGA尽可能靠近天线。这种本地处理为此类网络应使用多少带宽设置了限制，因为要处理的带宽越宽，则所需的时钟速率和器件功耗越高。在传统固定安装的Ka波段网络中，可以使用高达1 GHz的瞬时带宽。在低SWaP市场中，100 MHz到200 MHz更符合实际。

为了解决这些接收机挑战，传统办法是采用超外差架构，其会将Ka波段下变频至L波段，在下变频到L波段之前可能还有一个中间级。这种方法需要使用大滤波器，器件数量多且功耗高，无法支持低SWaP要求。鉴于上述限制，典型超外差架构开始在此类应用中式微。

高中频架构

针对此类市场，更好且更合适的架构是高中频架构。这种架构利用了直接变频收发器相关技术的最新进展。在直接变频收发器中，输入RF能量直接变频到基带，并分割为I和Q两个单独的流。此类产品已将其频率范围提高到6 GHz，从而支持新的独特使用场景。过去，这些器件的性能满足不了要求超高性能的军用和商用系统的需要。但最新进展表明，利用这种技术可以满足高性能需求。

这些器件的一些最新进步包括：带宽更高、线性度更好、集成数字信号处理功能更多、校准更轻松。这些器件的典型带宽高达200 MHz，而且可以针对不需要高带宽的情况进行调整。在频谱拥挤的环境中，此类器件的高线性度还有助于提高性能。这会使灵敏度略有降低，但在这种环境中，此类折中是必要的。此外，集成DSP功能可降低系统中FPGA的负担，节省功耗，减少复杂性。这些器件集成的FIR滤波器可进一步帮助解决拥挤环境中常见的许多通道选择率问题。

此类器件的另一个进步是集成了连续时间 Σ - Δ 型ADC (CTSD)。抗混叠滤波是这类ADC的固有功能，因此不再需要SAW滤波器，这有助于降低此类系统的延迟。

在高中频架构中，Ka波段不是直接变频为基带，而是先转换到高中频，然后馈入直接变频接收机。由于此类转换器的频率范围得到提高，该中频可以放在5 GHz到6 GHz之间。中频频率从1 GHz（当今的典型系统）提高到5 GHz，使得镜像频率范围比以前离得更远，故而前端滤波要求大大降低。前端滤波简化是缩小此类系统尺寸的一个因素。

采用AD9371的系统示例

图1显示了此类系统的一个例子。该系统由一个17 GHz到21 GHz的接收机通道和一个27 GHz到31 GHz的独立发射机通道组成。从接收机通道开始，输入RF能量先由Ka波段LNA放大，再进行滤波以让17 GHz到21 GHz信号通过混频器。混频器利用一个22 GHz到26 GHz范围的可调谐LO将17 GHz到21 GHz频段以100 MHz一段下变频至5 GHz IF。前端滤波器处理27 GHz到31 GHz范围中的镜像抑制、LO抑制和带外信号的一般抑制，防止来自 $m \times n$ 镜像的杂散信号通过混频器。此滤波器很可能需要定制，但由于对此滤波器的要求降低，所以其尺寸、重量和成本会比传统系统要低。

一旦将RF前端转换到5 GHz的高中频，就会进行进一步放大和滤波，然后发送到AD9371。高中频所需的滤波比较弱，利用现成的廉价小型LTCC滤波器即可轻松完成。这里的主要关键是要确保无中频谐波影响AD9371。

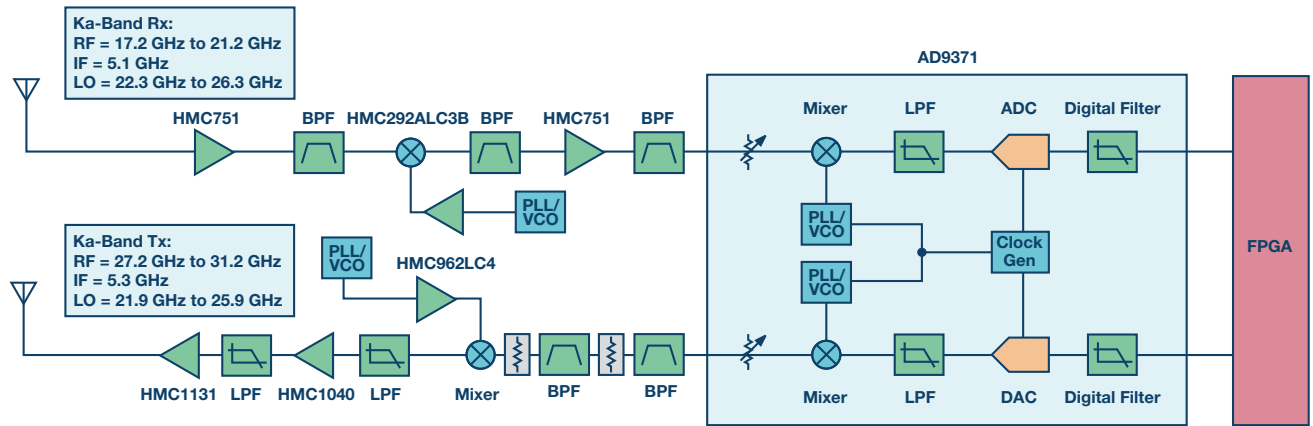


图1. 采用AD9371的接收机和发射机卫星通信系统示例

表1. 接收机性能

	性能
增益	37 dB
增益调整范围	30 dB
噪声系数	4 dB
IIP3	-3.5 dBm
Psat (全增益)	-35 dBm
带宽	100 MHz
直流功率 (包括LO发生器)	3.3 W

在发射侧, AD9371可用来产生并输出最高+4 dBm的5 GHz波形。IF位于5.3 GHz的频率, 不同于接收机上的5.1 GHz, 这是为了降低两个通道之间发生串扰的可能性。然后对输出滤波以降低谐波水平, 接着馈入上变频混频器, 变频到27 GHz至31 GHz前端。这可以利用与接收机侧相同的22 GHz至26 GHz范围的LO来完成。

表2. 发射机性能

	性能
输出功率	21 dBm
输出调整范围	42 dB
本底噪声	-151 dBc/Hz
OIP3	32 dBm
带宽	100 MHz
直流功率 (包括LO发生器)	4 W

此外, 采用直接变频收发器可为频率规划提供更大的灵活性。这里仅给出了一个例子, 但还有许多可能的频段可以使用相同的架构。AD9371能够快捷轻松地改变其IF频率, 使得系统可以灵活地避免有问题的杂散响应, 或者像人们对软件定义无线电的预期那样进行性能优化。

结语

世界各地都需要借助通信和数据实现连接, 这使得卫星通信收发器的数量越来越多。近年来, X和K_u波段日益拥挤, 故而推

动低SWaP系统向Ka波段发展。无人机、手持式无线电或战术车辆上安装的卫星通信网络的激增, 强烈要求通过创新方法来降低SWaP, 同时保持高性能指标。在高中频架构中, 我们已展示了一个合适的平台来在这些频段中实现更高的选择率, 其利用了目前可用的集成直接变频收发器的小尺寸和低功耗特性。AD9371用作中频收发器可将收发器的整体尺寸缩小一个数量级, 从而为解决下一代卫星通信难题提供大量解决方案。

作者简介

Brad Hall是ADI公司航空航天与防务部门(位于美国北卡罗来纳州格林斯博罗)的射频系统应用工程师, 于2015年加入ADI公司。在此之前, 他是信号情报系统的射频硬件设计工程师。他2006年毕业于马里兰大学, 获电气工程学士学位。

Wyatt Taylor是ADI公司(美国北卡罗来纳州格林斯博罗)的高级射频系统工程师。他主要从事航空航天和防务无线电应用研发工作, 具体侧重点是集成式射频收发器、小型微波设计、软件定义无线电(SDR)等。在此之前, Wyatt曾在马里兰州的Thales Communications公司和Digital Receiver Technology公司担任射频设计工程师。Wyatt于2005年和2006年分别获得弗吉尼亚州布莱克斯堡弗吉尼亚理工学院电气工程学士学位和电气工程硕士学位。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区, 与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。



请访问 ezchina.analog.com

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA15427sc-0-1/17

analog.com/cn

