ANALOG DEVICES
超越一切可能™

5G推动多个行业中的毫米波技术

Keith Benson，放大器产品总监

摘要

为了解决问题并提高性能，当今世界的技术所采用的频率不断提高。毫米波(mmWave)频率为应对通信和防务等众多行业中的严苛要求带来了希望。5G通信系统受益于防务公司多年的研究成果，虽然它们针对的应用不同，但需求类似。在电信链路中需要更高的数据速率，不断超出现有技术能力，其解决方案正在向28 GHz和39 GHz发展。

不断增加的高频IC开发导致军用设施在战场上需要应对的技术量增加。高频雷达分辨率的提高可以更清晰地解析目标，使防务应用（例如救助滞留海上的机组人员时）受益。此外，许多专为电信设计的IC必须具有低成本并且适合大规模生产，以便更易于部署。所有这些活动的一个副产品是需要可以验证解决方案在整个应用领域中能正常工作的测试仪器。

本文将简要介绍共享通用技术将使哪些行业受益或受到影响。分析了IC供应链以及IC供应链如何应对这些新需求。本文还将展示毫米波频率如何帮助解决当今的挑战，然后举例说明ADI技术如何使之成为可能。

无线电子设备交织的世界

为某个不同行业应用创建的技术通常会使多个行业受益。微波炉被公认为是一位雷达工程师的功劳，他在测试过程中发现自己的午餐被融化了。如今，我们看到类似情况正在发生，5G电信正试图实现防务行业利用相控阵天线所带来的益处。将来，防务行业很可能又会反过来实现5G进步所带来的新技术，从而建立起良性循环。

同样，卫星通信正在经历一场技术变革，从地球同步赤道轨道(GEO)或地球静止轨道卫星转向探索近地轨道(LEO)卫星，后者将能提供更高的数据吞吐量和对地球更好的覆盖率。其理念是，在给定网络中从绕地球运行的一颗或几颗GEO卫星转为数千颗(LEO)卫星。有许多运营商正试图创建面向宽带互联网的全新LEO卫星群，而许多争相提供卫星的公司正是同一批防务公司，它们拥有完备GEO卫星，而这些卫星对军用监控和通信来说至关重要。

这种从为不同目的而创造的技术中受益的循环已经出现在各个市场中，并还将持续数年。现在，我们将探讨为何毫米波频率对防务和通信都有帮助。

更高频率助力实现更高数据速率和更宽通信带宽

在过去20年间，随着移动通信的激增，对更高数据速率的需求不断增长。每隔几年就会引入一个新的无线标准来定义新协议以增加数据吞吐量。这些吞吐量的提高通常与更复杂的调制方案相关，以便同时传输多个信息。随着调制方案变得更加复杂，传输更多数据的能力也在增长。然而，调制复杂度增加到某个程度就不再能提供显著的吞吐量改善。故而信号调制的常用方法是将其扩展到载波频率附近的一系列频率上。因此，提高吞吐量的另一种方法是将调制信号(FBW)扩展到更宽的频率范围内来增加其带宽。为了不断增加可扩展信号的数量，我们需要增加载波频率(FC)以使其不低于直流。通过转移到更高频率以实现同时传输更多数据的能力将应用推向了毫米波频率。

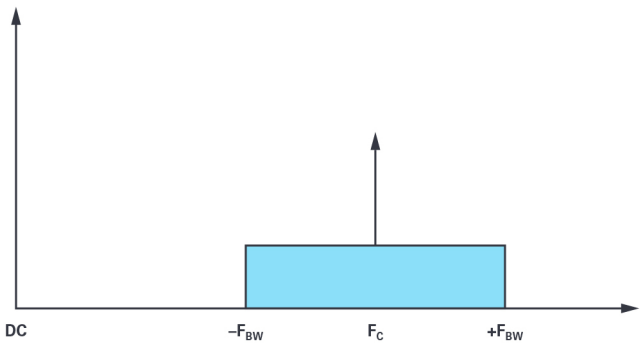

图1. 以载波频率为中心的调制带宽。

5G对电子战有何影响

当今的军事冲突越来越多地以电子方式进行对抗，这引发了电子战的构想。电子战的关键组件之一是雷达，只需发送一个信号并等待信号返回，即可对雷达视野范围进行测绘。雷达系统已经经历了100多年的发展，其主要优势是可以检测和测绘人类看不见的目标物。这使雷达操作员比没有雷达的对手拥有更大的优势。因此，雷达技术多年来一直在持续发展。如今，我们看到雷达用在日常天气预报、空中交通管制以及新兴应用中，例如在汽车行业中利用雷达来检测汽车与目标物之间的距离。采用UHF和VHF频率的传统低频雷达系统已经被应用于超长距离早期探测雷达。快速移动的飞机更常在X频段频率（8 GHz至12 GHz）运行，从而可以受益于更高分辨率和更小尺寸的天线。用于战斗机中部署和瞄准导弹的雷达系统通常在Ka频段（33 GHz至37 GHz）运行。94 GHz下的制导弹药和导弹开发正在不断增加。雷达系统转向更高频率具有诸多优势，我们可以通过查看表征目标解析能力的距离分辨率和角度分辨率来了解这些优势。转向更高频率的第一个优势是实现给定角度分辨率的天线尺寸会缩小，该分辨率是小型军备安装的关键。从另一个角度来看，对于给定天线尺寸，更高频率下的角度分辨率会增加。雷达的距离分辨率与调制带宽成正比，如上所述，在更高的频率下会提高距离分辨率。因此，由于应用要求更高的分辨率，转向更高频率会带来优势。

传统上，防务公司的电子战系统运行于2 GHz至18 GHz之间，涵盖S波段、C波段、X波段和Ku波段的雷达。随着威胁的距离增加，进行侦听的电子设备也将增加，直至最终消除威胁。我们可以看到，工作在28 GHz和39 GHz频率的5G设备接近于用于导弹制导的现有Ka频段。因此，对电子战系统的新要求将扩展到可覆盖从24 GHz到44 GHz的5G频率范围，并且在这些频率上将有更多电子手段可考虑用于军事战场。通常，电子战的主要作用是侦听威胁，然后以电子方式干扰威胁，同时不被发现。由于威胁可能来自各种不同的频率，因此侦听设备（后面紧接着的是干扰设备）需要具备宽工作频段。

在防务应用中采用多年的关键技术已经成为5G电信的理想技术。相控阵天线技术非常适合5G应用，它的多个特性对防务行业也很有价值。这些关键属性包括传输多个数据流或辐射图的能力。在防务应用中，这使得战斗机能够一次跟踪多个目标，而在5G电信中，它可以一次将数据传输给多个用户。同样，防务应用需要可将能量对准一个方向的波束，从而降低被拦截或干扰的可能性。电信能够更高效地将信息定向发送给用户，从而消耗更低的功耗。

几乎立即完成波束重新定位的能力让两种应用都能受益。深受电信和防务行业青睐的许多其他优势使该技术颇具吸引力。

5G对IC的影响

当今世界非常依赖于移动通信。支持5G蜂窝基础设施的先进技术对于许多电信设备提供商及其基于IC的供应链（如图2所示）而言，是一个重要的增长领域。这一巨大的增长机会催生了数百万甚至数十亿美元的投资，以实现下一代产品。构成这些系统的核心元件是通过网络路由数据的IC。我们可以看到，IC供应链的各个方面都在改变和发展（如图2所示）。我们看到，从这些产品可用的晶圆制造工艺到最终测试解决方案，支持这些产品的技术都发生了重大的创新。

提供晶圆制造服务的众多半导体代工厂为IC创造了基础材料，并不断创新。许多代工厂已经开发出新的工艺技术来参与竞争并实现5G新技术。这种改进的示例之一是转向比电子束光刻更具成本效益的光学光刻。另一个优势是可以将新功能集成到单个工艺节点中，以在价格敏感的市场中参与竞争。

随着新工艺技术的推出，IC设计也在不断演进。通过在单个工艺节点中提供新功能，IC设计人员能够将某些功能组合到一个产品中，或者从核心晶体管中提取比以前更高的性能。这些趋势最终导致芯片的集成度提高，并且更易于部署。随着向毫米波频率的扩展，具有吸引力的还包括能够利用低成本封装的优势，使装配更加容易。毫米波频率下的传统防务装配方式是芯片-引线互连装配法，即转换成小型金属外壳，芯片之间采用引线相互键合。这并不是一种大批量装配方法，并且通常比表面贴装技术更贵。过去几年一直采用此方法的主要原因是尺寸限制。但是，随着在更小封装中实现更高集成度和更高的性能，表面贴装更具吸引力。

对于在28 GHz和39 GHz下的相控阵天线及其IC，OTA测试等测试解决方案已经成为现实。以前，要测试相控阵天线，通常需要一个大的电波暗室，它不仅难以构造且价格昂贵。现在，这些测试解决方案变得更为经济、更小型化并且现成可用，从而导致可以提供完整天线解决方案，而无需花费大量投资来测量最终产品的供应商数量大大增加。相控阵天线已经从主要用于防务公司和大学的探索性技术转变为主流技术。它不仅让旨在抓住5G机遇的电信公司能够利用这一新技术，而且还能更好地防御新兴防务威胁。现在，标准仪器供应商提供的精确测量技术可以更快地解决经验不足的天线工程师之前面临的挑战。

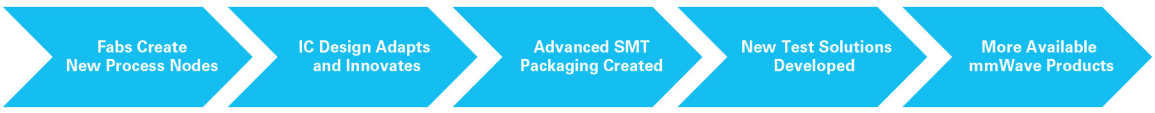

图2. 5G IC供应链。

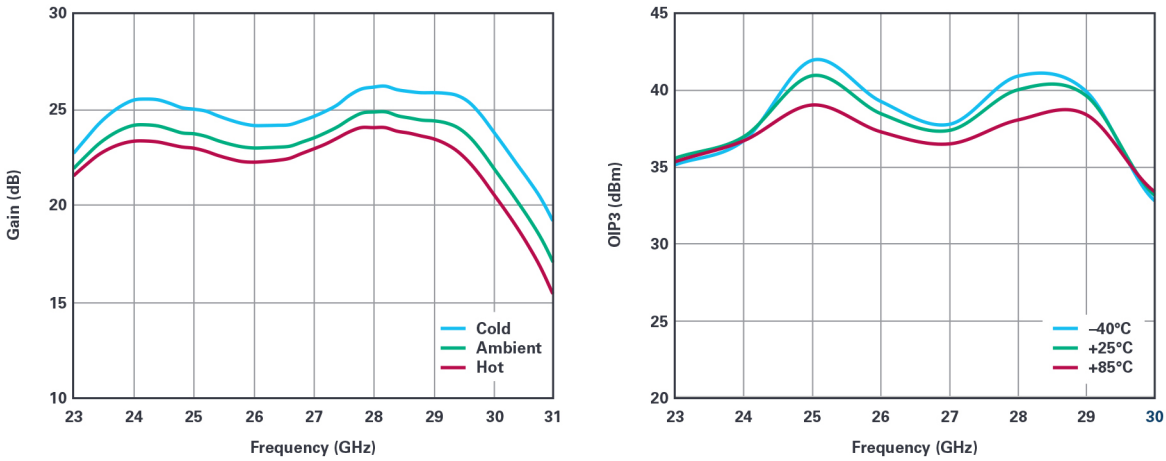

图3. HMC863A测得的增益（左）和OIP3（右）与温度的关系。

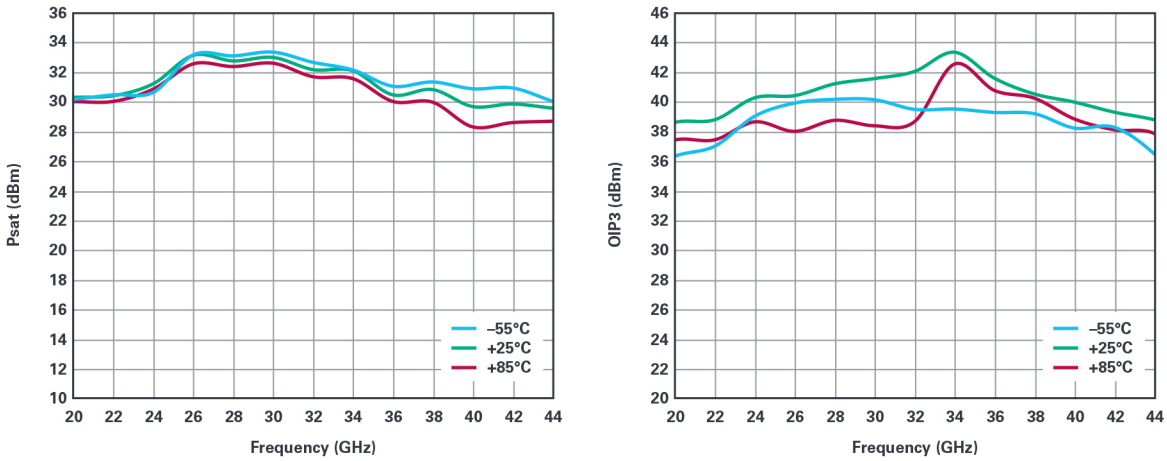

图4. ADPA7005测得的饱和功率（左）和OIP3（右）与温度的关系。

这样一来，业界便可提供更多的毫米波产品，这些产品既可以部署在通信应用中，也可以用于防务应用。通常，用于蜂窝基础设施的产品在规格和功能上与防务和仪器仪表行业产品的需求很接近。易于获取的IC和测试解决方案的发展加快了最终产品的上市时间，这极大地降低了防务行业中毫米波频率出现威胁的等级。

ADI公司助力多个行业体验5G效应

除了会受到影响的仪器仪表和防务行业以外，ADI公司还投入巨资开发5G电信解决方案。面向电信市场的产品往往频段较窄，因此更易于进行性能优化。防务行业通常需要宽带宽解决方案，因为在缺乏超前认知的情况下，威胁可能来自多个频率。

用于28 GHz 5G电信基础设施中的功率放大器(PA)的示例之一是HMC863ALC4，它可覆盖24 GHz至29.5 GHz频率范围，并能提供大于0.5 W的RF功率。PA采用一个小型4 mm × 4 mm表面贴封装，可产生接近40 dBm的三阶交调点(TOI)。性能曲线如图3所示。

此外，ADI公司还针对防务和仪器仪表市场开发了解决方案，例如可覆盖20 GHz至44 GHz频率范围的ADPA7005。ADPA7005支持倍频程范围工作带宽，并可在整个工作频段内提供大于1 W的饱和输出功率。整个频率范围上的一致增益标称值为15 dB，使其可以轻松集成到完整的系统中。此外，40 dBm以上时的高TOI是测量或生成高调制输入信号的理想选择。TOI和饱和功率的性能曲线如图4所示。

电信网络的发展已经对周边产业产生了影响，该影响将在未来几年内逐渐展现。这种变迁的核心是需要以数据形式提供更多信息，这些信息将有可能创造出永远不会对目标进行物理攻击的新武器。当今世界的应用所采用的频率正不断提高，这只是个开始。

作者简介

Keith Benson毕业于马萨诸塞大学安姆斯特分校，获电气工程学士学位，2004年毕业于加州大学圣塔芭芭拉分校，获电气工程硕士学位。他于2004年在Hittite Microwave开始了自己的职业生涯，负责微波IC设计。2011年，他成为IC设计部经理，专攻高频放大器和集成式频率转换IC设计。2014年初，他担任Hittite Microwave的放大器产品总监。2014年7月，ADI公司收购了Hittite Microwave，Keith成为ADI公司射频/微波放大器和相控阵IC的产品线总监。Keith拥有3项新颖放大器技术方面的美国专利。联系方式：*keith.benson@analog.com*。

在线支持社区

ADI EngineerZone™ 中文技术论坛

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*ez.analog.com/cn*

©2019 Analog Devices, Inc. 保留所有权利。
商标和注册商标属各自所有人所有。

“超越一切可能”是ADI公司的商标。

TA21692sc-10/19