射频收发器为航空航天和防务应用提供突破性的SWaP解决方案

作者：Wyatt Taylor和David Brown

共享

新一代航空航天和防务平台将带来新的挑战，其需要的解决方案无法通过单独优化器件来实现。在无线电中集成更多的软件控制和认知能力，需要采用一种在频率和带宽方面更具灵活性的射频设计。为了实现这一目标，需要取消静态滤波器并以可调谐型滤波器取而代之。类似地，通用平台的概念将有助于缩短开发时间，降低生产成本，提高系统间的互操作性。通用平台要求射频系统能帮助传统上采用不同架构的应用充分发挥其性能。最后，未来的平台将把尺寸和功耗需求推向新的极端。

手持式单人无线电的功能不断增强，复杂性也不断提高，同时也需要更高的电池效率。小型无人飞行器不具备大型飞机的发电能力，射频系统消耗的每毫瓦电能都会直接转化成有效载荷电池重量，由此会缩短飞行时间。为了克服这些挑战，打造出新一代的解决方案，需要采用一种新型无线电架构。

超外差架构与效益递减现象

自提出以来，超外差架构就一直是航空航天和防务系统无线电设计的中坚力量。无论是单人无线电、无人飞行器 (UAV) 数据链，还是信号情报 (SIGINT) 接收器，单或双混频级超外差架构都是通用的选择。这种设计的优势非常明显：合理的频率规划可以实现超低的杂散辐射，通道带宽和选择性可通过中频 (IF) 滤波器设定，各级的增益分布允许在噪声系数与线性度之间进行权衡。

在100多年的运用中，超外差在整个信号链中的性能得到了显著提升。微波和射频器件提高了性能，同时还降低了功耗。ADC和DAC提高了采样速率、线性度和有效位数 (ENOB)。FPGA和DSP的处理能力遵循摩尔定律，随着时间的推移得到了提升，为更高效的算法、数字校正和进一步的集成创造了条件。封装技术缩小了器件引脚的密度，同时改善了封装的散热能力。

然而，这些因器件而异的改进已经开始走向效益递减点。尽管射频元件的趋势是减小尺寸、重量和功耗 (SWaP) —但高性能滤波器的物理尺寸仍然较大，通常采用定制式设计，会增加系统的整体成本。另外，中频滤波器决定着平台的模拟通道带宽，因而很难构造出可以在广泛系统中重复利用的通用平台设计。对于封装技术，多数生产线不会采用低于0.65 mm或0.8 mm的引脚间距，这意味着，有着多种I/O要求的复杂器件在物理尺寸上可以小型化的程度是存在限制的。

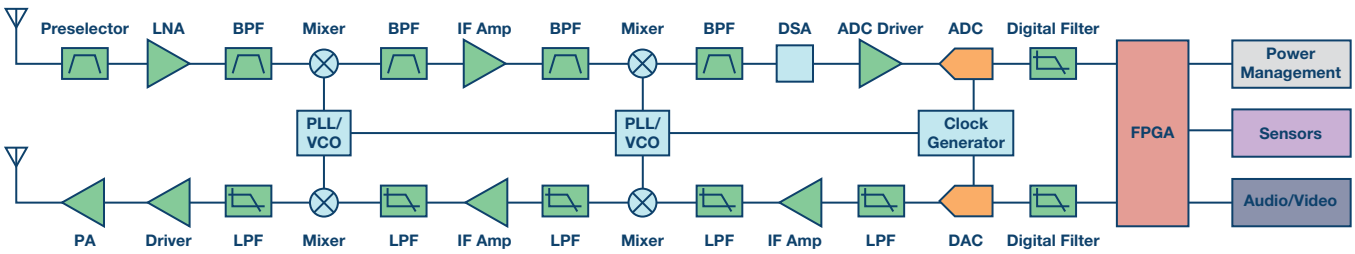


图1. 基本的超外差架构的

零中频架构

超外差架构的一种替代方案是零中频 (ZIF) 架构，近年来，后者已经作为一种潜在的解决方案重现市场。零中频接收器采用一种单频混频级，其本振 (LO) 直接设为目标频段，把接收到的信号向下转换至相位 (I) 和正交 (Q) 信号中的基带。这种架构可以缓解超外差架构严格的滤波要求，因为所有模拟滤波处理均发生于基带，在基带中，相比定制射频/中频滤波器，滤波器的设计要简单得多，成本也要低一些。如此一来，ADC和DAC就在基带中作用于I/Q数据，所以，可以降低相对于转换带宽的采样速率，从而大幅降低功耗水平。从多个设计角度来看，零中频收发器因降低了模拟前端的复杂性，减少了元件数量，所以可以大幅降低SWaP。

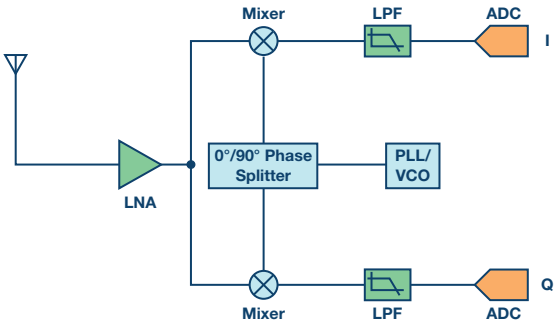


图2.零中频架构

然而，这种系统架构有些缺陷需要解决。把频率直接转换为基带的方法会带来载波泄漏和镜像频率。从数学上来看，I和Q信号的虚部会因其正交性而相互抵消（如图3）。受真实因素的影响（比如工艺差异、信号链里的温度差异），不可能在I信号与Q信号之间维持完美的90° 相位偏移，结果会导致镜像抑制性能下降。另外，混频级里不完美的LO隔离会带来载波泄漏。如果不予以校正，则镜像和载波泄漏问题可能会导致接收器灵敏度下降，造成无用的发射频谱辐射。

从历史上来看，I/Q不平衡问题限制了零中频架构适用的范围。其原因有二：首先，零中频架构采用分立式实现方式，结果会在单片器件和印刷电路板 (PCB) 中导致失配问题。第二，单片器件可能来自不同的生产批次，因工艺本身的差异，要实现精确匹配极其困难。另外，分立式实现方式也会使处理器与射频元件在物理上相分离，很难横跨频率、温度和带宽元件实现正交校正算法。

集成式收发器带来SWaP解决方案

将零中频架构集成到单片收发器中，这种方法为新一代系统提供了一个途径。把模拟和射频信号链设在同一片硅片上，可以最大限度地降低工艺差异的影响。此外，DSP模块可以整合到收发器中，由此消除正交校准算法与信号链之间的界限。这种方法不但可以前所未有地改善SWaP性能，还能在性能规格上媲美超外差架构。

目前，ADI公司有两款收发器能满足航空航天和防务市场的需求，它们是AD9361和AD9371。这些器件把完整的射频、模拟和数字信号链集成到单片CMOS器件上，整合的数字处理模块可以实时运行正交和载波泄漏校正算法，不受任何工艺、频率和温度差异的影响。AD9361重点面向要求中等性能规格和超低功耗的应用，比如无人飞行器数据链、手持式和单人通信系统以及小型SIGINT等。AD9371面向要求超高性能规格和中等功耗的应用而优化。另外，该器件集成了一枚ARM®微处理器，用于实现精密校准控制；一枚观察接收器，用于实现功率放大器 (PA) 线性化；以及一个嗅探接收器，用于探测空白空间。这就为众多不同的应用开启了全新的设计潜力。现在，可以在小得多的封装中实现采用宽带波形或占用非连续频谱的通信平台了。在射频频谱高度拥挤的地点，较高的动态范围和较宽的带宽为实现SIGINT和相控阵雷达作业创造了条件。

新一代就在当下

借助长达100年的器件优化经验，超外差架构得以在尺寸不断缩小、功耗不断降低的平台上实现不断增强的性能。随着物理限制的到来，这些改进已经开始放缓步伐。新一代航空航天和防务平台将要求采用全新的射频设计方法。在这类方法中，若干平方英寸的现有平台将集成到单片器件中；软件与硬件之间的界限被模糊，可实现当前不可能的优化和集成水平；减小的SWaP不再意味着性能的下降。

现在，借助AD9361和AD9371这一组合，航空航天和防务设计师有能力构造几年前还不可能实现的系统。两款器件具有许多共同点—可调谐的滤波器角、宽带LO生成、分集能力、校准算法等。但也存在关键的差异，每款器件均针对不同的应用而优化。AD9361侧重于单载波平台，其中，SWaP是主要驱动力。AD9371侧重于宽带、非连续平台，其中，性能规格的实现难度更大。这两款收发器将成为新一代航空航天和防务信号链的关键促成因素。

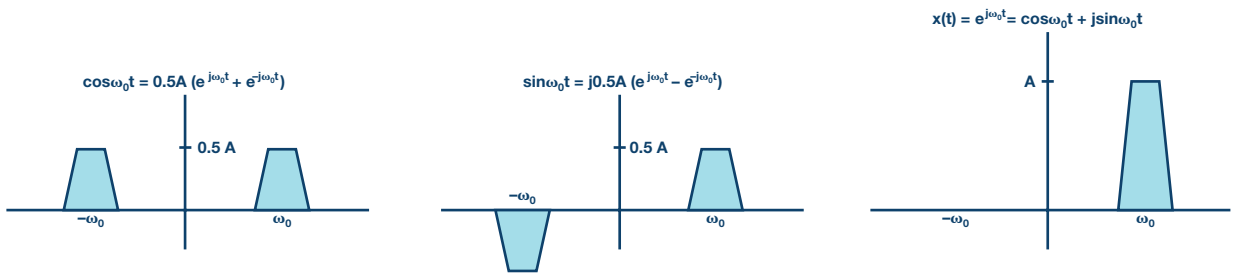


图3. 零中频镜像消除

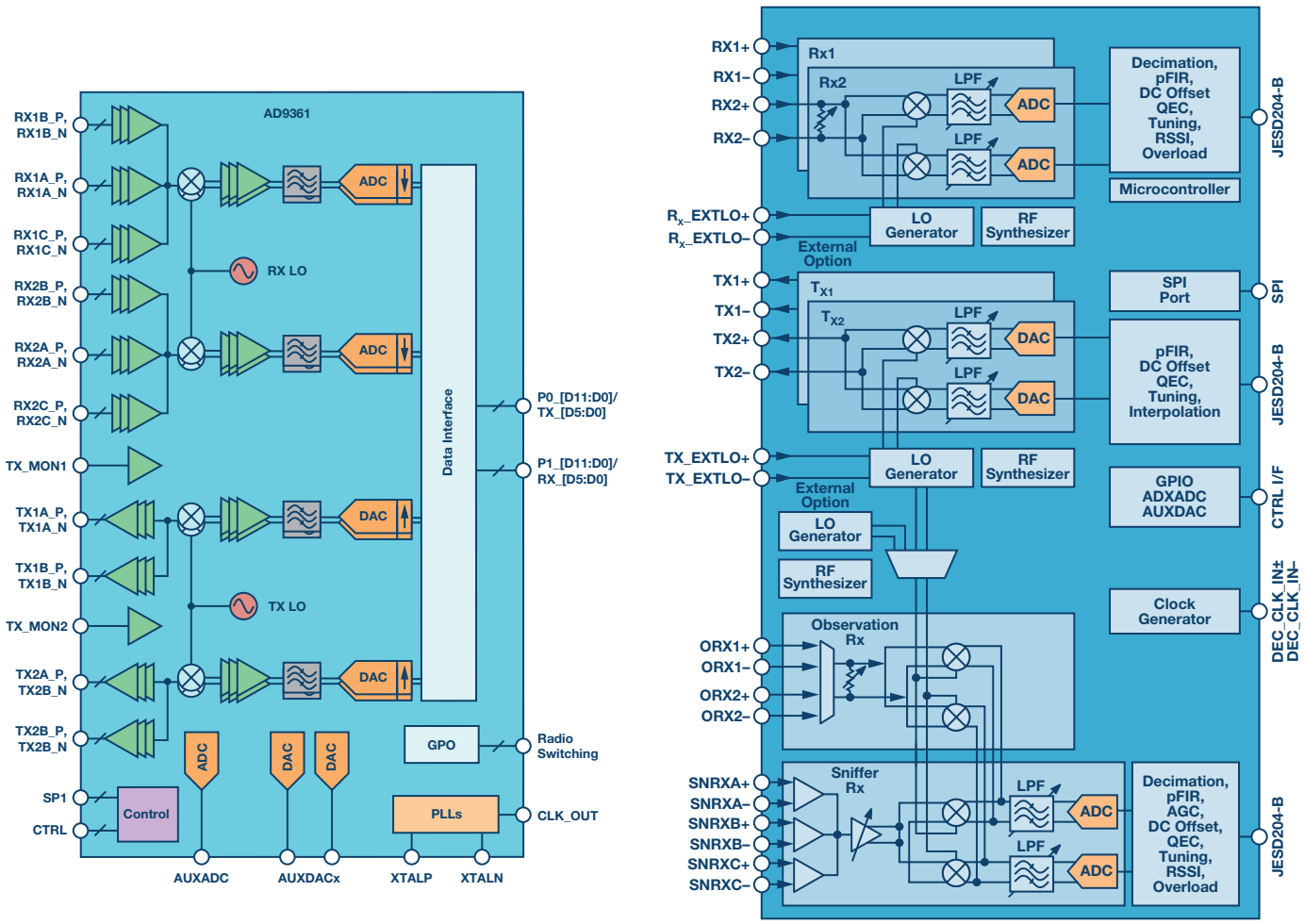
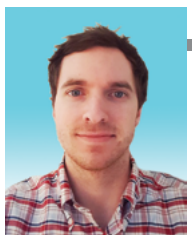


图4. AD9361和AD9371功能框图

Wyatt Taylor[wyatt.taylor@analog.com]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（BSEE）学位和电气工程硕士（MSEE）学位。

Wyatt Taylor

David Brown[david-w.brown@analog.com]是ADI公司（美国北卡罗来纳州格林斯博罗）的射频系统应用工程师。他于2015年加入ADI公司，主要从事航空航天和防务应用研发工作。David于2014年毕业于北卡罗来纳州立大学，获电气工程学士学位。



David Brown