

Application Note

赋能空域感知：面向无人机的双频带 ADS-B 无源接收



摘要

本应用手册探讨了微型双频带 ADS-B 接收器的技术实现，重点介绍了低功耗软件定义无线电 (SDR) 架构，以使无人机能够在不牺牲续航能力或增加硬件复杂性的情况下保持态势感知能力。

内容

1 简介.....	1
2 双频带要求：978MHz 和 1090MHz.....	1
3 UAS 集成中的工程挑战.....	1
4 TI 的 ADS-B 产品系列：高性能、低功耗接收.....	1
5 总结.....	3
6 参考资料.....	3

商标

SimpleLink™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

随着可执行超视距飞行 (BVLOS) 的无人机在载人飞行器的共享空域内飞行的密度增加，“感知和避让”技术已从一种可选功能，转变为美国联邦航空管理局 (FAA) 拟议第 108 部法规的强制监管要求。为了避免无人机和载人飞行器之间发生碰撞，无人机必须具备检测和解读附近飞行器移动的能力。由于载人飞行器已经广播 ADS-B 信号，无人机可以利用接收 ADS-B 信号来满足新的监管要求。

2 双频带要求：978MHz 和 1090MHz

有效的空域整合所需的绝不仅是单频带接收器。当前的航空领域依靠两个不同的频率标准来广播位置数据：1090MHz 扩展电文 (1090ES) 和 UAT。1090ES 是商用飞机与高空飞行器通用的全球标准，为大规模交通管理提供远距离数据。此外，978MHz 频率通常称为通用接入收发器 (UAT)，针对通用航空和低空操作进行了优化。在美国，无人机的机载系统必须能够同时监测这两个频段，这样无人机才算真正具有空域感知能力。只监听 1090MHz 的无人机仍然无法感知到 978MHz 频段上的低空通用航空飞行器，因此会形成显著的安全盲区。因此，双频带方法是提供全面态势感知能力的唯一方法。

3 UAS 集成中的工程挑战

为无人机设计 ADS-B 接收器比为固定地面站设计 ADS-B 接收器更为困难。工程师必须在尺寸、重量和功率 (SWaP) 等方面遵守严格限制。硬件每增加一克，都会直接降低无人机的有效载荷容量并缩短其飞行时间。部分无人机系统需要冗余的 ADS-B 无线电，以在市区内导航时保障公共安全和可靠性。此外，无人机的电磁环境本身就充“满噪声”。电子速度控制器 (ESC) 的高频切换、电机的脉宽调制以及高功率遥测无线电的存在，共同形成了一个恶劣的信噪比环境。ADS-B 接收器必须具有高度选择性，能够从大量本地电磁干扰中提取出远距离传输的微弱航空脉冲。

4 TI 的 ADS-B 产品系列：高性能、低功耗接收

TI 通过专为低功耗、高可靠性应用而设计的高度集成射频架构，解决了 1090ES 和 UAT 两个频段引发的相关挑战。TI 器件包括 CC1312R、CC1352R、CC1352P、CC1312R7、CC1352P7 和下一代 SDR，用于提供能够同时监测两个 ADS-B 频段的紧凑型双频带接收器。TI SDR 将 Arm Cortex-M0 处理器与射频收发器前端（包括器件

射频内核中的 LNA) 集成在一起，如图 4-1 所示。射频内核为主片上 CPU 提供了一个基于命令的高级应用程序接口。这些具有成本效益且高度集成的器件在接收模式下仅消耗 5.8mA 的低电流，同时采用小型 7mm× 7mm QFN 封装，可轻松助力小型 UAS 平台实现 ADS-B 接收板设计的 SWaP-c 优化。

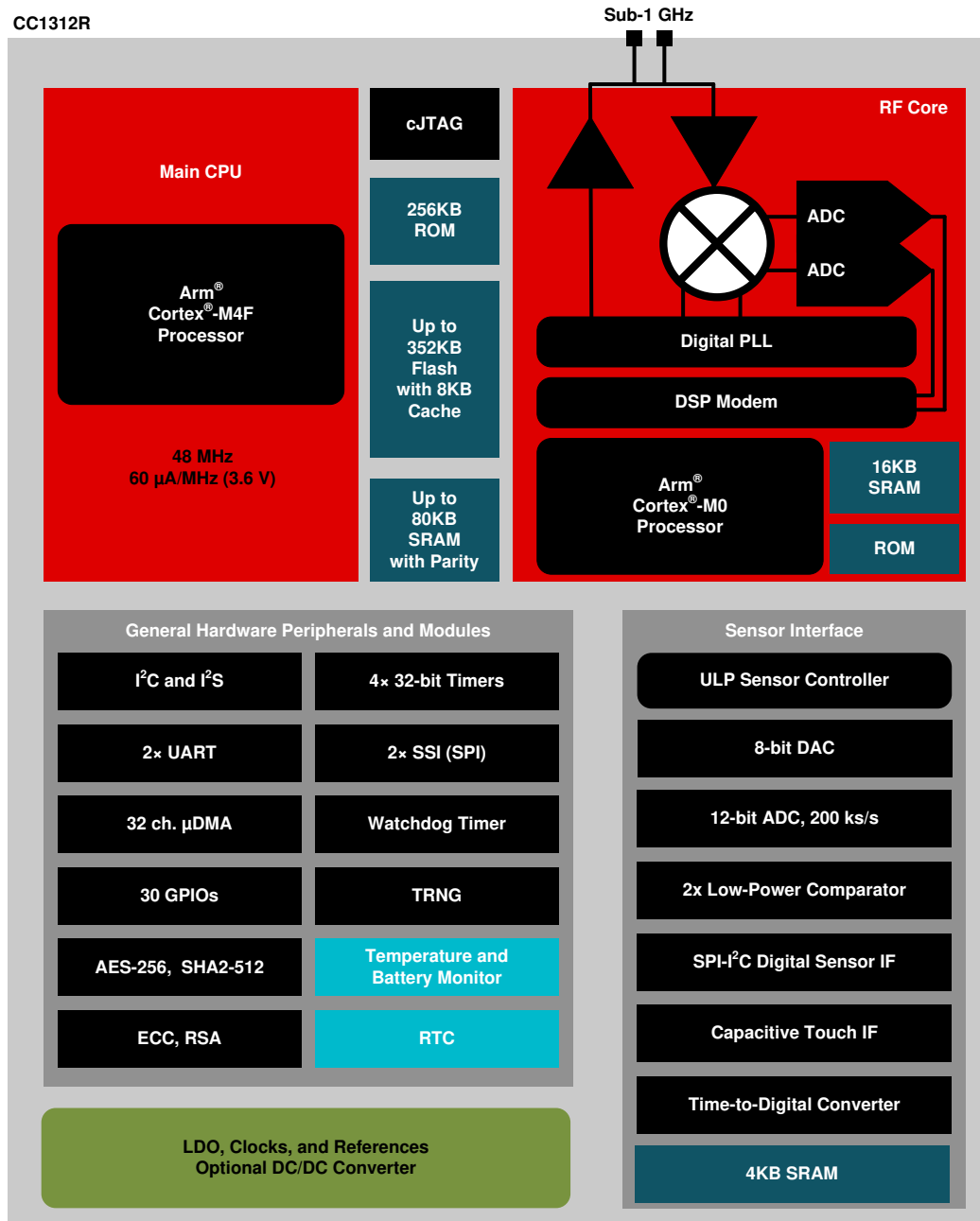


图 4-1. CC1312R 方框图

通过利用成熟的无线电前端，TI 架构可提供所需的高灵敏度，以检测任意 ADS-B 频段下的远距离飞行器。为了消除 UAS 平台特有的电噪声，该系统还采用先进的数字信号处理来滤除干扰，确保飞行控制器接收干净、可操作的位置数据。更为重要的是，这套 TI 设计的功耗特性针对 UAS 受电池限制的特性进行了优化。通过高效的睡眠模式和简化的数据处理，接收器可以在整个任务期间持续工作，提供一个态势感知“安全网”，同时不会对飞行器的飞行包络产生重大影响。

此外，如果 ADS-B 接收器需要更高的增益，TI 还提供一个可与 1090MHz 或 978MHz 匹配的小型低功耗 LNA。TRF3302 在 1.8V 至 3.3V 可调输入电压下消耗的电流低于 4.6mA，并采用 1.3mm × 1mm 封装，可用于 SWaP 敏感型 UAS 平台。

5 总结

随着无人机监管环境的不断发展，避让载人飞行器的能力正在成为飞行认证的标准要求。通过采用双频带 ADS-B 接收器，无人机制造商可以提供高水平的安全性与合规性。TI 提供了基本的构建块，将紧凑型元件与超低功耗相结合，为下一代无人机实现精密的空域感知能力。

6 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[CC1352R 具有 EdgeAI 支持的 SimpleLink™ Arm Cortex-M4F 多频带 Sub-1GHz 和 2.4GHz 无线 MCU 产品页面](#)
2. 德州仪器 (TI)，[CC1352P 具有集成式功率放大器的 SimpleLink™ Arm Cortex-M4F 多频带 Sub-1GHz 和 2.4GHz 无线 MCU 产品页面](#)
3. 德州仪器 (TI)，[CC1312R 具有 352kB 闪存的 SimpleLink™ 32 位 Arm Cortex-M4F Sub-1GHz 无线 MCU 产品页面](#)
4. 德州仪器 (TI)，[CC1312R7 具有 704kB 闪存的 SimpleLink™ 32 位 Arm Cortex-M4F Sub-1GHz 无线 MCU 产品页面](#)
5. 德州仪器 (TI)，[CC1352P7 具有 EdgeAI 支持和 +20dBm 的 SimpleLink™ 32 位 Arm Cortex-M4F Sub-1GHz 无线 MCU 产品页面](#)
6. 德州仪器 (TI)，[TRF3302 1165MHz 至 1640MHz 多频带 GPS 和 GNSS 低噪声放大器 \(LNA\) 产品页面](#)

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月