

Luowave X410 PRO/PRO+ (相参版)

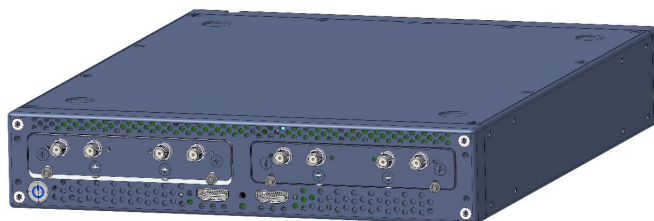
宽频段、大带宽、多通道的4X4高性能软件无线电设备

产品概述

Product Overview

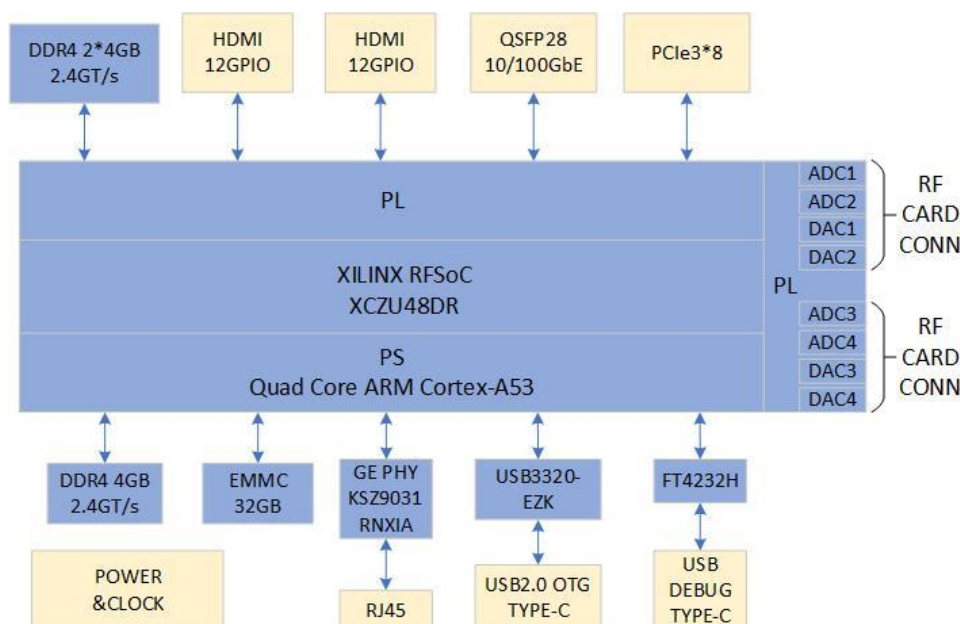
- Luowave X410 PRO/PRO+是武汉珞光电子全新升级的高性能软件无线电平台。作为X410的进阶版本，X410 PRO/PRO+核心均升级为Xilinx XCZU48DR FPGA芯片，显著提升了信号处理能力。平台延续了Xilinx Zynq UltraScale+ RFSoc的先进架构，集成四核ARM处理器及高精度14位ADC/14位DAC，具有1MHz-7.2GHz（可扩展至8GHz）的超宽频段覆盖。通过两级超外差架构，实现4通道独立收发，每通道400MHz瞬时带宽。

同时，Luowave X410 PRO+通过创新的本振共享设计（LO sharing）结合两级超外差架构，实现4通道独立收发，在保持每通道400MHz瞬时带宽的同时，确保多通道间相位一致性优于1°，为相控阵雷达、MIMO通信等对相位一致性要求严苛的应用提供了完美的硬件解决方案。



产品框图

Block Diagram



产品特性

Product Features

- 内置 Xilinx Zynq Ultrascale+ ZU48DR RFSoc，配备四核 ARM处理器
- 2个QSFP28接口（10/100 GbE, Aurora）
- 1个PCIe Gen3x8 接口
- 1个千兆以太网电口
- 1个Type C口 USB主接口
- 1个Type C USB(串口,JTAG)
- 2个HDMI（2*12个GPIO）
- 支持外接时钟参考和 PPS 时间参考(内置GPSDO)
- RFNoC FPGA 开发框架
- 支持 GNU Radio
- 支持相位同步，单机内部通道/多机间相位稳定性 < 1° RMS (仅适用于 Luowave X410 PRO+)

技术规格

Specifications

发 射		接 收	
通道数	4	通道数	4
频率范围	1MHz-7.2GHz，可调谐至8GHz	频率范围	1MHz-7.2GHz，可调谐至8GHz
频率步进	< 1Hz	频率步进	< 1Hz
最大输出功率	< 21dBm	最大输入功率	< 0dBm
增益范围	60dB	增益范围	≤500 MHz 38dB > 500 MHz 60dB
增益步进	1dB	增益步进	1dB
最大实时带宽	400MHz	最大实时带宽	400MHz
平均噪声	-146 dBm/Hz	噪声系数	500MHz-3.1GHz: 8dB 3.1GHz-6GHz: 6.5dB 6GHz-8GHz: 9dB
FPGA和基带		电源	
FPGA	Xilinx RFSoc XCZU48DR	电压	12V DC
DRAM	PL:2x4GB DDR4 2.4Gbps PS: 4GB DDR4 2.4Gbps	电流	最大20A
ADC分辨率	14 bits	物理属性	
DAC分辨率	14 bits	尺寸	半宽RU 28.5 cm × 22.2 cm × 4.4 cm

高性能基带

High-performance Baseband Processor

Luowave X410 PRO/PRO+均基于 Xilinx Zynq UltraScale+ ZU48DR RFSoc芯片构建，它采用异构处理架构，集成了ARM Cortex -A53四核处理器和Cortex -R5双核实时处理器，搭配UltraScale+可编程逻辑资源，能实现高效多线程处理与定制化功能。

其FPGA资源在逻辑密度、DSP算力、存储带宽方面均针对高性能RF应用进行优化，尤其适合需要低延迟、高吞吐量的实时信号处理场景。

FPGA	Xilinx Zynq Ultrascale+ ZU48DR RFSoc
系统逻辑单元	930k
可编程逻辑单元 (LUTs)	425,280
DSP切片	4,272
Block Ram	38Mb
UltraRam	22.5Mb
分布式RAM	13.0Mb

Luowave X410 PRO/PRO+配备了三组 DDR4 内存模块，其中两组用于可编程逻辑（PL），一组用于处理器系统（PS）。其中，板载PS DDR4为4GB 64bit，PL DDR4为2*4GB 64bit，工作速率为2400MT/s。DDR4内存模块能够充分满足高带宽、低延迟的数据吞吐需求，为复杂的数据处理任务提供强有力的支持。

高性能射频性能

High-performance RF Capabilities

宽频段覆盖

Luowave X410 PRO/PRO+的频率范围从1MHz-7.2GHz，这一宽广的覆盖范围使得设备能够支持从低频到高频的多种无线通信标准和应用场景。

大瞬时带宽

每个通道高达400MHz的瞬时带宽，Luowave X410 PRO/PRO+能够处理大量数据流，适合于宽带信号处理。用户可以利用更宽的通道，实现通道绑定和载波聚合，获得更高的数据吞吐量。

高精度 ADC/DAC

XCZU48DR相比XCZU28DR具有更高性能的ADC/DAC：14位ADC（vs 12位）和更高采样率（ADC 5GSPS vs 4.096GSPS，DAC 9.85GSPS vs 6.554GSPS），为5G毫米波、高分辨率雷达等高性能应用提供了更强信号处理能力。

超外差架构

射频前端架构采用3GHz以下的超外差两级转换（提高信号质量）和3GHz以上的单级转换（优化高频性能），配合滤波和功率电平控制，提供高保真信号发射和接收。

高速数据传输与接口

High-Speed Data Transmission & Interfaces

大数据传输能力

随着5G+，6G海量数据研究的需求增加，其仿真验证平台的大量数据传输成为挑战，为了解决这个问题，Luowave X410 PRO/PRO+提供了两个支持100 GbE的QSFP接口及一个 PCIe 3 x8接口，可以通过它们来实现高速数据流传输。

丰富的调试接口

Luowave X410 PRO/PRO+提供了丰富的调试接口，包括GPIO接口、JTAG、1GbE以太网口和Type C USB主机接口，适用于不同的应用场景和调试需求。用户可以根据具体需求选择合适的接口和工具进行设备调试和开发。

同步与时钟

- **USRP-LW X410 PRO**：带有一个板载 GPS 驯服振荡器 (GPSDO)、一个 PPS 接口和 10 MHz 参考时钟，可以实现多设备的时钟和定时同步操作。
- **Luowave X410 PRO+**：具有灵活的同步架构，支持10MHz时钟参考，PPS时间参考，外部TX和RX本振信号(LO)输入以及GPSDO，可实现相位相干MIMO测试平台。

全独立多通道设计

Independent Multi-Channel Architecture

独立调谐能力

Luowave X410 PRO/PRO+具有 4 个独立的 TX 和 RX 通道，每个通道支持1MHz~7.2GHz独立频点设置，各通道可同时工作在完全不同的频段，实现频分双工(FDD)应用或同时模拟多个信号。

多通道并行收发

借助于热门的开源工具链（如 GNU Radio 和 UHD），用户可通过软件设置每个通道的中心频率、带宽、增益等参数，灵活控制各通道的信号发射和接收，实现多通道并行收发，该特性在电子战、频谱监测等需要多信号并行处理的场景中具有显著优势。

通道数扩展

对于通道数更多并需要精确时间对齐的应用（例如大规模 MIMO），可以使用GPSDO、PPS生成、外部参考时钟、外部本振信号输入来同步多个设备。

支持频率扩展

Frequency Band Expansion

面向NR FR2需求，Luowave为Luowave X410 PRO/PRO+深度定制了毫米波扩展模块，可将中频信号经升频到毫米波频段，从而帮助用户快速组建毫米波系统。通过使用现有的USRP设备升级到毫米波解决方案，毫米波研究人员可以用经济的成本和更短的时间帮助推动和实现毫米波5G通信的全面普及，同时支持面向未来6G标准的技术探索与验证。

可选模块	说明
24G变频模块	Luowave X410 PRO/PRO+扩频选件，6-24GHz，2通道
44G变频模块	Luowave X410 PRO/PRO+扩频选件，24-44GHz，2通道

相位同步性（仅适用于X410 PRO+ 版本）

LO Sharing设计

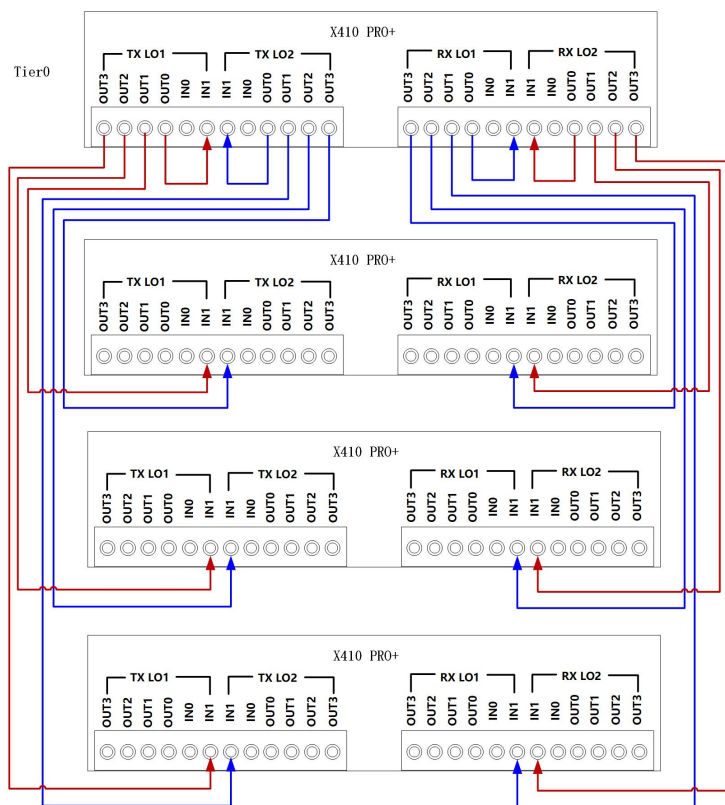
Luowave X410 PRO+采用LO Sharing设计，通过自主设计的发射端本振共享同步板和接收端本振共享同步板为四路射频通道提供共享本振信号，实现通道间的相位同步，同时还支持外部TX和RX本振信号的输入和输出以实现多设备间的相位相干同步，单机内部通道/多机间相位稳定性优于 1° RMS。

分布式部署优势

Luowave X410 PRO+通过创新的本振共享架构，实现多设备间精确的相位同步，可构建超大规模分布式MIMO系统，完美支持5G/6G、雷达等复杂无线系统的开发验证与测试应用。

MIMO系统本振分配

LO distribution for MIMO Systems



16X16 MIMO本振分配示意图

16*16MIMO系统（由四台Luowave X410 PRO+ 设备级联）本振分配使得全部Tx和Rx同步到同一本振，由第一台USRP作为本振分配根设备，为其它USRP设备提供TX LO和RX LO参考输入，物料链路上保证十六通道相位相干同步。

开发环境

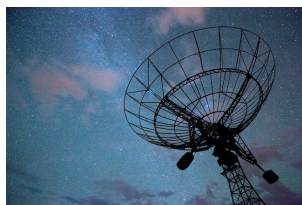
Software

主机开发工具			
			
操作系统支持			
FPGA开发			

Luowave X410 PRO 应用场景

**5G/6G 通信研究**

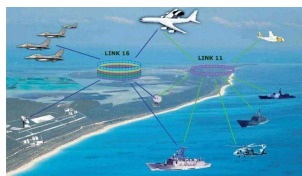
- Massive MIMO原型验证
- 5G FR2 频段研究--配合毫米波扩展模块，可扩展至5G FR2频段

**雷达系统设计**

- 雷达原型研究以及试验--频段覆盖L、S、C波段
- 多目标探测--多通道并行处理，能够实现多目标探测、跟踪以及复杂环境下的信号处理

**频谱监测与流盘**

- 宽频段实时频谱分析--1MHz~7.2GHz 覆盖（可扩展至 44GHz）
- 数据流盘—通过高速PCIe端口和两个可配置的QSFP28端口，可实现高吞吐量数据交换和数据流盘回放

**电子战（EW）与复杂电磁环境仿真**

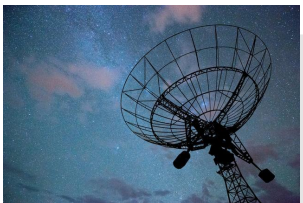
- 多辐射源模拟--模拟复杂战场电磁环境
- 干扰信号生成--高动态范围 DAC可生成 高保真欺骗干扰信号

Luowave X410 PRO+ 应用场景



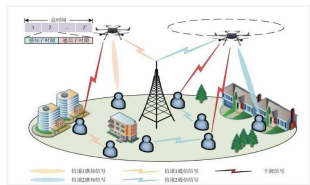
5G/6G 通信研究

- Massive MIMO原型验证--本振共享设计可确保所有射频通道的载波相位同步
- 毫米波MIMO实验--配合毫米波扩展模块



雷达与电子战系统

- 相控阵雷达--多通道的相位一致性，提高目标检测分辨率
- 电子侦察与干扰--多通道协同干扰或信号侦测



分布式无线测试平台

- 多设备级联同步--多台X410可通过LO级联构建超大规模射频系统适用于5G OTA测试、信道仿真等场景
- 6G通信感知一体化—相位相干性可提升环境感知精度



频谱监测与流盘

- 宽频段实时频谱分析--1MHz~7.2GHz 覆盖（可扩展至 44GHz）
- 数据流盘—通过高速PCIe端口和两个可配置的QSFP28端口，可实现高吞吐率数据交换和数据流盘回放