



摘要

“物联网” (IoT) 在过去几年中呈指数级发展，这一发展得益于覆盖偏远地区的小型 LEO 通信卫星星座的建立。物联网需要高效的通信协议支持其快速增长，提升对最终用户的服务质量，并增加最终用户或终端的数量。这些高级协议有助于增加带宽，减少延迟和错误率，并增加支持的通道数量。

MBI 集团研发的 LEOnida 方案，基于返回链路(RL)和一种改进的增强扩频 Aloha(E-SSA)空中接口[1]。E-SSA 是一种随机访问(RA)技术，由之前的 Aloha 协议进化而来，允许在信噪比(C/N)远低于 0 dB 的情况下对接收到的异步突变信号进行解调。它结合了直接序列扩频(SS)和连续干扰消除(SIC)技术，可消除接收端的多址干扰(MAI)。另外，该协议不需要终端之间的信号和协调，大大降低了系统复杂度和网络管理难度。LEOnida 解决方案可容忍一定的延迟，这意味着它可以使用不连续的服务链接和低密度的星座来加速服务的实现。在不连续的反馈连接的情况下，它还可提供存储和转发的功能。

RL LEOnida 解决方案之前被用于 MBI 集团的地面处理应用，而从未被用于星载处理的应用。随着高性能、高效的宇航级计算密集型设备的出现，在小型 LEO 轨道卫星上实现这种高性能的计算协议成为可能。

本文将介绍一种新型的小型 LEO 通信卫星的架构，通过实现 RL LEOnida 解决方案和嵌入式解调算法来提高终端和卫星之间的通信性能。这个架构使用了 Teledyne e2v 公司的宇航级处理模块 QLS1046-Space。可以看到，LEOnida 物联网平台可以被搭载在 LEO 卫星上，为大量的低功耗物联网终端提供窄带物联网服务。

本文首先将阐述所需的处理架构，并评估在宇航应用中应用的选项；然后会给出实际的实现方法和测试设置，随后进行性能测试，并评估测试的结果；最后将讨论可能的后续步骤。

1. 处理架构

E-SSA 通信协议的处理架构可以被分为两个主要部分：

- 与 A/D 和 D/A 转换器互联并处理数字采样的前端部分，包含接收端的前导搜索器和发射端的调制器。这部分的操作简单，但需要极高的确定性，因此通常使用低功耗 FPGA 的可编程逻辑(PL)实现。
- 与前端相连的后端部分，包含接收机和星载 HUB。这部分需要复杂的操作和很强的计算能力，高性能的处理器核心是最适合的器件。



因此，我们推荐使用一种结合了可编程逻辑(PL)和处理器核心的高效混合架构。图 1 列出了几种可行的器件组合方案，以及可以提供的处理能力。一些方案的性能中等，可用于 nanosat，而对于微小卫星则需要更强的计算能力。

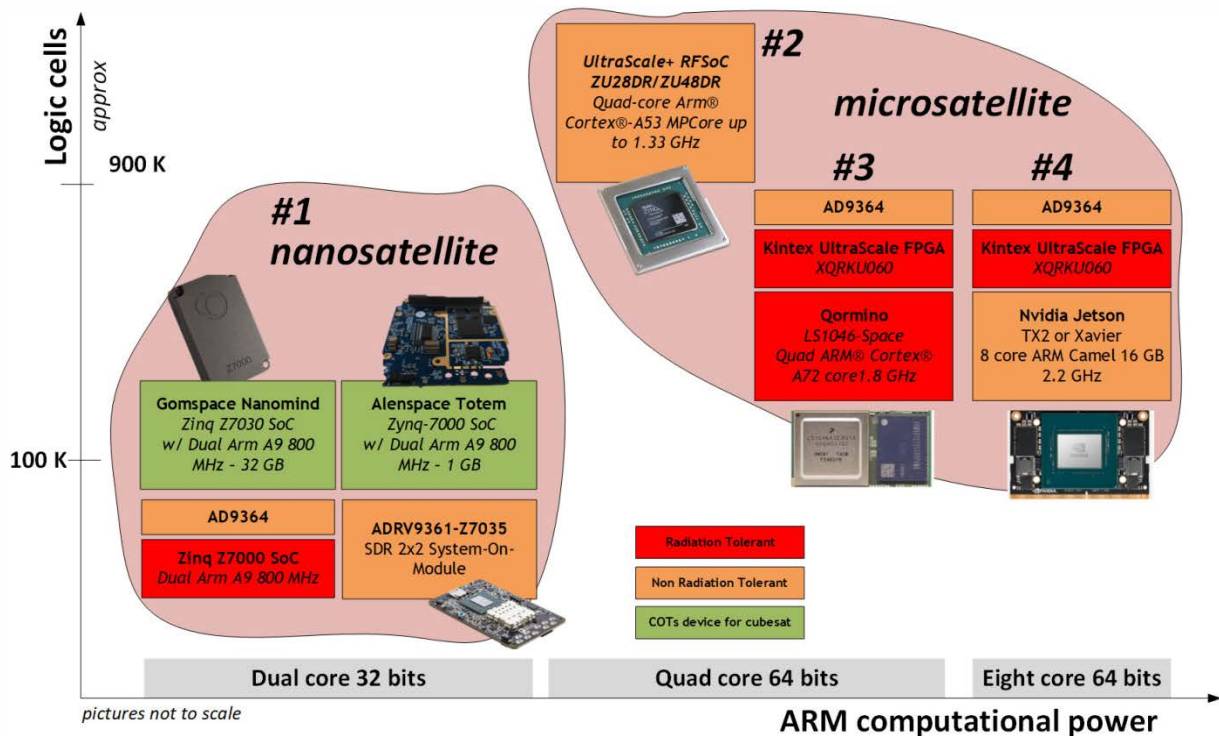


图 1 – 几种可行的处理架构的性能

在这些选项中，Teledyne e2v 的 QLS1046-Space 处理模块结合 Xilinx 的 XQRKU060 FPGA 的方案具有完全耐辐射的优势。QLS1046-Space 是一款耐辐射宇航级器件，包含 1 片 1.8GHz 的四核 64 位 Arm® Cortex A72 处理器和一片高速 4GB DDR4 存储器。它的外形紧凑，如图 2 所示。

Processor	QorIQ® LS1046 integrating ARM® Quad core / Dual core at 1.8 GHz
Memory	4GB DDR4 stacked memory 72-bit BUS with ECC protection
Attributes	Temperature performance -55° to +125° Compact size ≈44mm x 26mm Long-term support +15 years

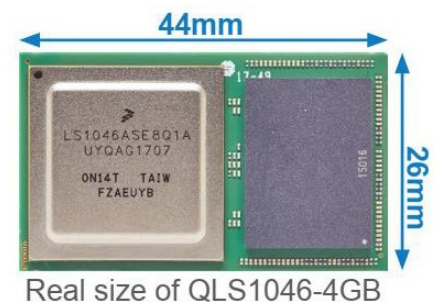


图 2 - QLS1046-Space



使用 QLS1046-Space 和 FPGA 结合的方案框图如图 3 所示。这是一种实际的星载数据处理架构，可以被用于小型 LEO 卫星上搭载的 LEOnida 物联网平台。E-SSA 前导搜索器在 FPGA 中实现，以管理应对 LEO 卫星的大多普勒频移所需的多频假设，可达到数十 kHz。调制器也通过 FPGA 的 PL 实现，以便能实时运行。初步研究表明，这两种应用都可通过低功耗 FPGA 实现。另一方面，E-SSA 接收器和星载 HUB 在处理器上运行。测试结果表明，处理器的选择对于充分利用 LEOnida 协议至关重要，这也是我们为什么选择 QLS1046-Space 的原因。

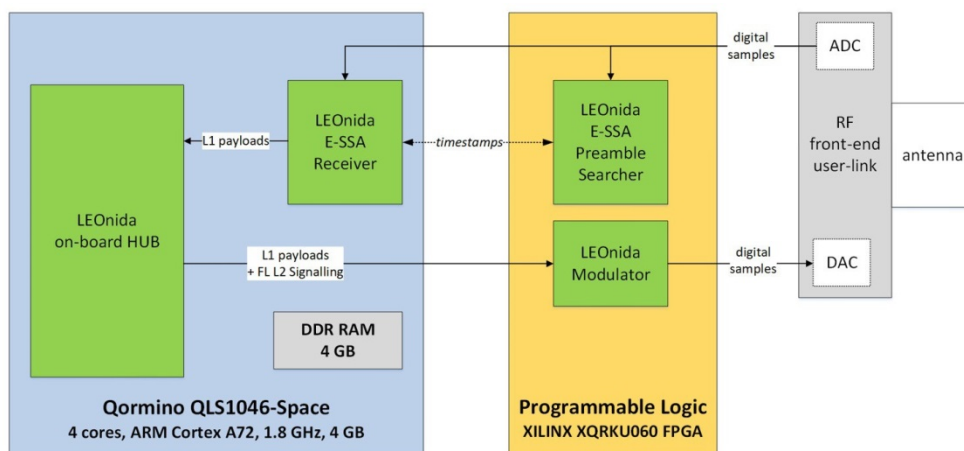


图 3 – 使用 QLS1046-Space 和 FPGA 的处理策略

下面的章节将在实践中评估这一平台的性能。

2. 测试设置和软件实现

实际的测试设置基于 QLS1046-Space 开发工具，这是一个完整的开发平台，包含各种接口，如图 4 所示。

MBI 集团已经为地面应用开发了 E-SSA 的软件实现方案。这个软件使用 C++ 开发，可在 CPU 和 GPU 服务器上运行。为了本文所述的研究，MBI 集团对现有的软件做了移植，使其可以运行在 QLS1046-Space 上。为了减少开发时间，软件并未针对 QLS1046-Space 优化，因此本文所述的测试结果可通过优化这一新的目标平台的运行来进一步提高。

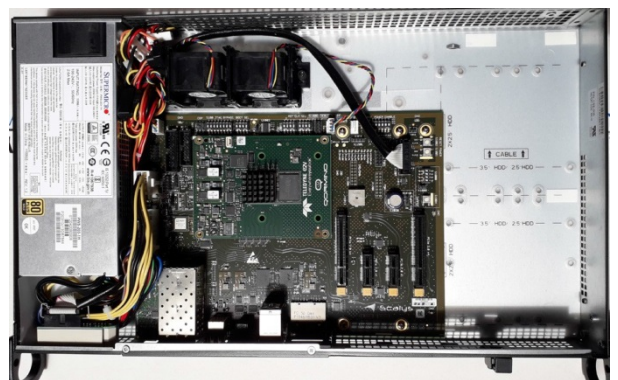


图 4 - QLS1046-Space 开发工具

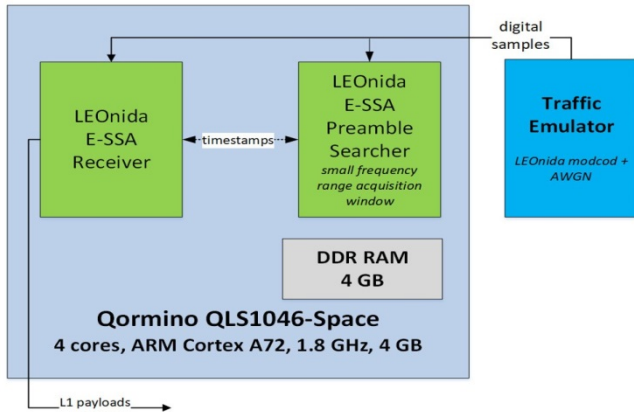


图5- 实际测试的软件实现

由于本文的重点是评估处理器上 E-SSA 接收器的性能，因此在设置中没有包含 FPGA。

包含前导搜索器在内的完整的 E-SSA 接收器被移植到 QLS1046-Space 上。前导搜索器配置了一个较小的频率范围采集窗口，以减少资源的使用（因为它通常在 FPGA 上运行）。流量仿真器用于为开发工具提供采样值。测试设置的框图如图 5 所示。

3. 结果

图 6 列出了用于性能评估的多种 LEOnida modcods 和流量生成器的配置。我们特别修改的参数是扩散因数（SF）和数据大小。

LEOnida Waveform Constant Envelope						Testbed configuration AWGN channel + small Doppler shift			
Modcod	Bandwidth	Modulation	Code rate	Spreading Factor	Data Size bytes	C/N (dB)	Power Spreading (dB)	Doppler (Hz)	# IC Loops
MODCOD#1	60 kHz	QPSK	1/3	16	38	-10	5	10	32
MODCOD#2	60 kHz	QPSK	1/3	16	78	-10	5	10	32
MODCOD#3	60 kHz	QPSK	1/3	64	38	-16	5	10	32

图6- 测试条件

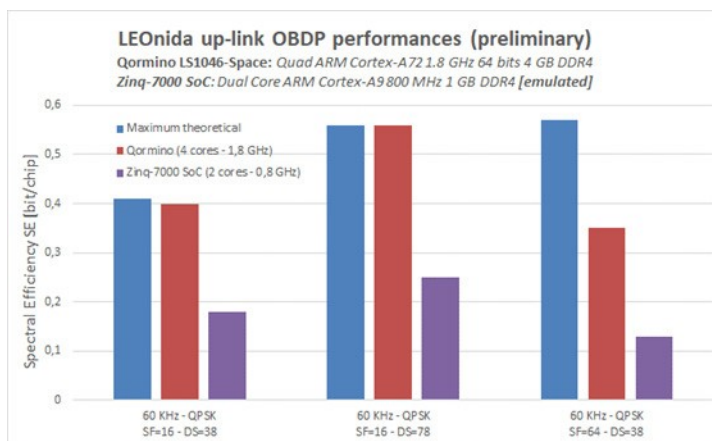


图7- 实际性能

三种测试条件下的性能评估结果如图 7 所示。协议的最大理论性能用蓝色表示，QLS1046-Space 的性能用红色表示，ZYNQ-7000 的仿真性能用紫色表示。ZYNQ 是通过运行 QLS1046-Space 的两个核，并采用较低的 800MHz 的 CPU 频率进行仿真。



测试结果清楚地表明，当 SF 为 16 时，频谱效率不受 QLS1046-Space 的限制。这意味着 LEOnida 协议可在这些条件下得到充分利用。然而，对于扩散因数 64，QLS1046-Space 成为限制的因素，这是我们预期的结果。代码并未针对本研究优化，因此在 QLS1046-Space 上运行优化的代码将带来更高的性能。还应该注意到，在这个应用中，在所有条件下，QLS1046-Space 的性能都远远超过 ZYNQ-7000 的仿真性能。

4. 讨论和下一步

这个案例研究提出并评估了一种在小型 LEO 通信卫星上实现物理网的宇航处理平台。MBI 集团通过实际测试证明，这种使用 Teledyne e2v 的 QLS1046-Space 处理模块和 FPGA 的平台能够处理高级星载协议，例如 LEOnida E-SSA。使用 QLS1046-Space 实现的 LEOnida 接收机的在轨演示可以通过重用测试台的架构并使用地面终端设计预补偿多普勒频移来实现。

MBI 集团也正在研究使用这种计算平台执行信号智能算法的可能性，例如干扰频率检测、源定位和缓解。虽然现在这些算法的 TRL 依然较低，它们仍可以被移植到 QLS1046-Space 上进行在轨演示的测试。第一步是使用开发工具实现实验室的演示器，以验证该方法的可行性。

5. 参考文献

- [1] Del Rio Herrero O, De Gaudenzi R., «High efficiency satellite multiple access scheme for machine-to-machine communications,” IEEE Trans Aerosp. Electron Syst., vol. 48, no. 4, October 2012.
- [2] QLS1046-Space 产品页面 <http://semiconductors.teledyneimaging.com/en/products/processors/qls1046-space>



更多信息，请联系：

Byron Gao

技术应用工程师

peng.gao@teledyne.com



更多信息，请联系：

Yuki Chan

市场传讯经理

Yuki.chan@teledyne.com

