



AN1142: 网状网络性能对比

设计人员必须了解网状网络技术的功能和性能特征，才能正确地为其特定应用或产品做出选择。网络性能特征，如吞吐量、延迟以及网络规模对可扩展性和可靠性的影响，都是应该考虑的因素。另外做决定时，还要考虑一些其他因素，例如不同生态系统中使用的技术、网关接口和云连接。

本应用指南回顾了 Zigbee、Thread、和 Bluetooth 网状网络，以评估它们在性能和行为方面的差异。使用能够运行 Bluetooth Mesh、Thread、Zigbee 和专有协议的 Silicon Labs Wireless Gecko SoC 平台进行了测试。使用了 Silicon Labs Bluetooth Mesh、Thread 和 Zigbee 软件堆栈。测试环境是一个商业办公大楼，范围内有 Wi-Fi 和 Zigbee 网络。在走廊、会议室、办公室和开放区域部署了无线测试集群。这些结果主要用于为设计实践和原则以及预期的现场性能结果提供指导。

有关其他技术的其他性能基准测试信息，请参阅 <http://www.silabs.com/mesh-performance>。

总结

- 介绍了网状网络性能，包括吞吐量、延迟和大型网络可扩展性。
- 使用 Silicon Labs SDK 和面向 Bluetooth Mesh、Thread 和 Zigbee 的堆栈执行了基准测试。

本文提供的信息以 Thread 的 SLThread 实施为依据。SLThread 已于 2019 年 12 月“终止服务”。Silicon Labs 将通过实施更受欢迎的 OpenThread 替换 SLThread。我们预计，OpenThread 的结果将非常接近 SLThread 结果。

1. 介绍和背景

在开发人员会议和行业白皮书中，Silicon Labs 提供了嵌入式网状网络的性能测试结果。系统设计人员可以使用吞吐量、延迟和安全影响等基本性能数据来定义预期行为。作为基本的 15.4 网状网络技术，此前已针对 Zigbee 和 Thread 网络提出了这种测试。提出这些是因为，即使两个系统使用 IEEE 802.15.4 定义的相同的底层物理层，性能也会有所不同。最近，我们还发布了在 Silicon Labs 研发 (R&D) 设施中使用相同测试网络的 Bluetooth Mesh 性能数据。下面的应用说明分别介绍了这三种网状技术的基本性能细节，包括测试条件和结果：

- [AN1137: Bluetooth 网络性能](#)
- [AN1138: Zigbee 网状网络性能](#)
- [AN1141: Thread 网状网络性能](#)

本文主要介绍三种技术的结果，以便相互对比评估。因为连接所有设备时不会仅使用一种技术，所以，本文是提供性能对比，以便根据技术情况选择网络。开发产品的公司可以根据预期用例测试网络性能，然后使用这些数据来协助选择合适的技术。

本文未介绍测试条件和拓扑，这将在各性能白皮书中单独介绍。所有网状网络都是在 Silicon Labs R&D 设施中使用相同条件和相同无线设备进行测试的。

2. 结果对比

2.1 吞吐量和延迟

在受控网络（有线配置）中测试了吞吐量和延迟，以测试各种数据包载荷下的跳频。

正常配置是测试 6 个跳频。测试是使用 1 个源节点和一系列路由节点完成的，以便更改跳频数量。

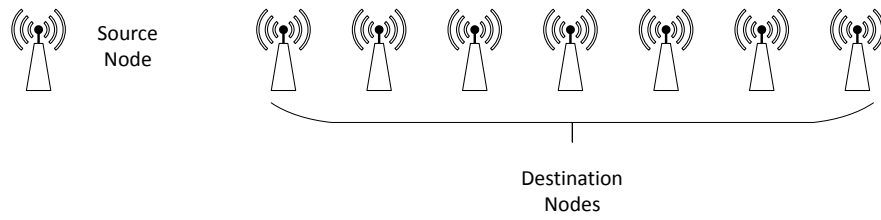


Figure 2.1. 吞吐量和延迟测试配置

2.1.1 网状多跳吞吐量

吞吐量测试使用相同的一种设置评估不同跳频数量下各种有效荷载的预期应用级吞吐量。

对于较小的有效荷载，吞吐量较低，因为网络发送数据包花费的时间比应用数据更多。

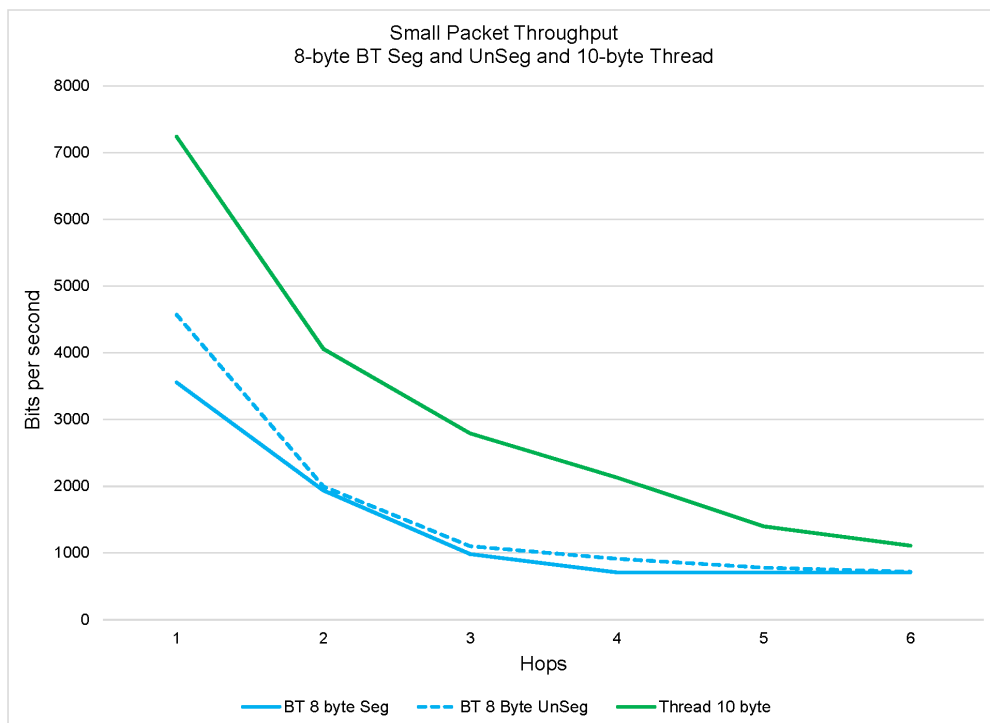


Figure 2.2. 小数据包吞吐量 8 字节 BT Seg 和 UnSeg 和 10 字节线程

对于较大的有效荷载，Zigbee 和 Thread 的吞吐量总体上会增加；但是，Bluetooth Mesh 的较小有效荷载不会导致吞吐量增加。注意，所有三种技术在这种大小下都会分段数据包。

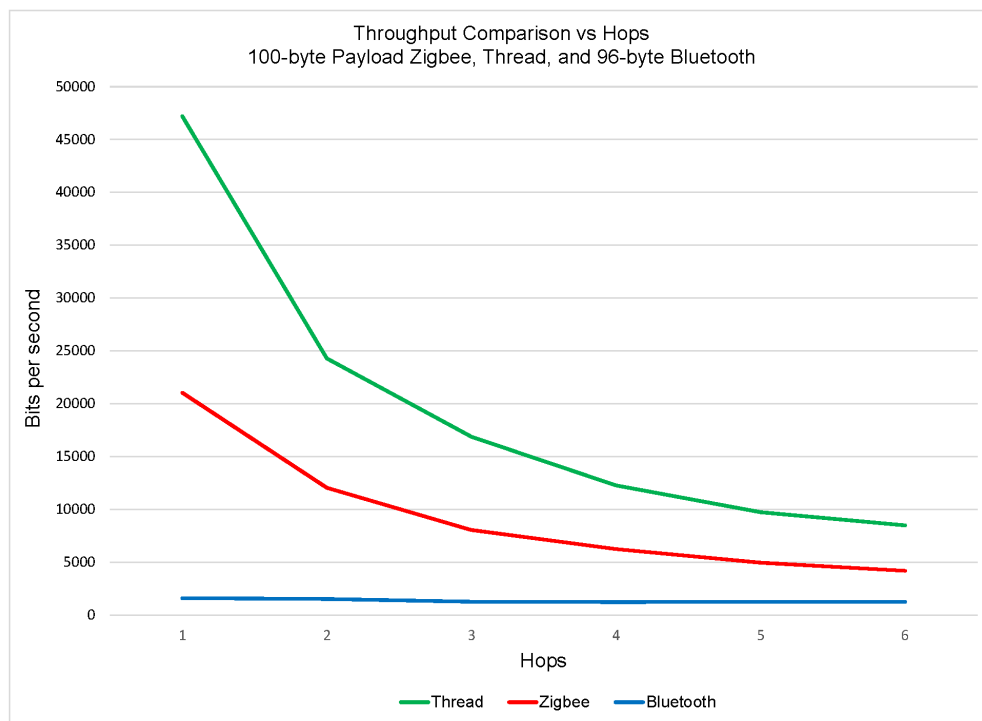


Figure 2.3. 吞吐量对比与跳频 100 字节有效荷载 Zigbee、Thread、和 96 字节 Bluetooth

如果我们测量延迟而不是吞吐量，我们先看看小的有效荷载，可看到不同的技术之间有类似的延迟数值。为 Bluetooth 添加分段会增加延迟，但所有分段的往返时间都保持在 200 毫秒以下。

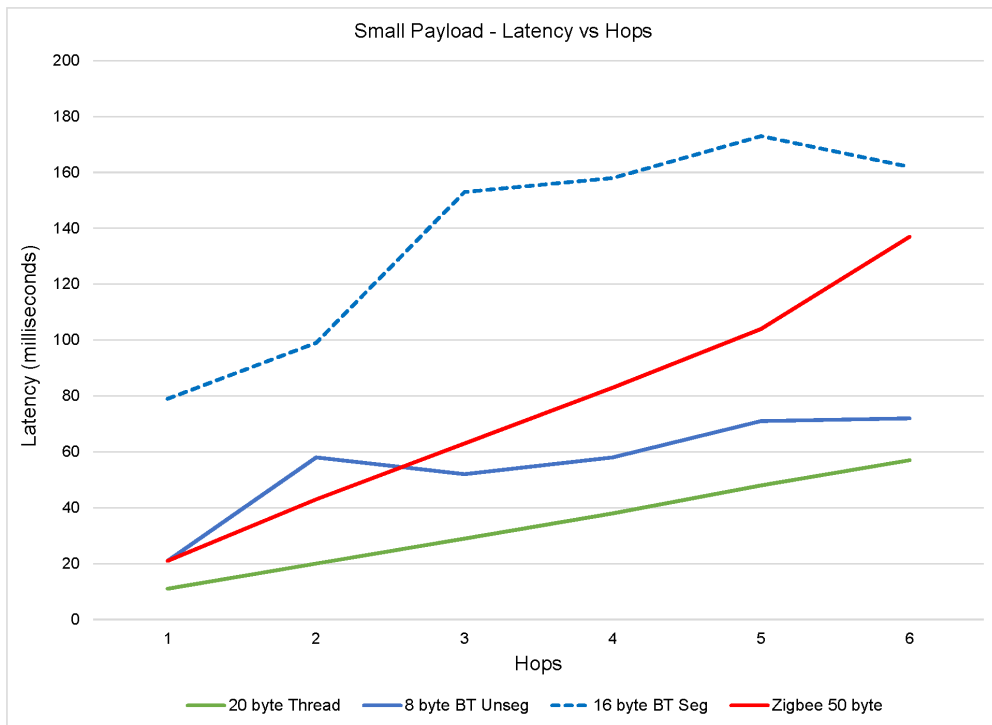


Figure 2.4. 小有效荷载 - 延迟与跳频

如果我们查看不同有效荷载的 4 跳图，我们可以看到各种技术的延迟均随有效荷载增加。随着应用有效荷载的增加，所有网状网络延迟都会增加。网络在这些条件下的性能与底层分段方法以及发送数据时的网络拥塞有关。随着有效荷载增加，Bluetooth 必须发送更多的数据包，因此这种分段会增加更多延迟。

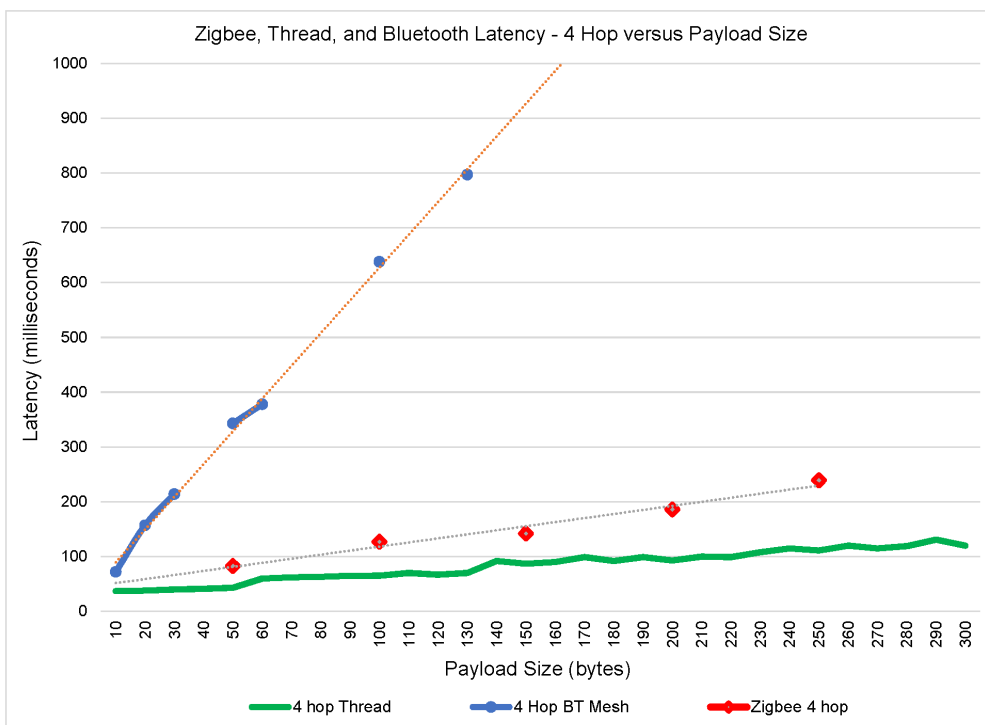


Figure 2.5. Zigbee、Thread 和 Bluetooth 延迟 - 4 跳与有效荷载大小

2.2 多播网络测试与网络大小

网状多跳吞吐量中显示的吞吐量和延迟结果受测试性质的限制，因为它是单串设备。在较不可控的条件下验证堆叠性能需要露天测试。这些网络是在 Silicon Labs 办公空间中配置的，有正常的 Wi-Fi 干扰、其他网络运行和楼宇控制系统。未尝试使用任何措施隔离这个网络的 RF 条件。

因为该测试全部是多播传输，所以 Bluetooth 泛洪网络的行为与 Zigbee 和 Thread 的相同，这是因为所有设备多播通常都会使用各个路由器的三次重新广播来泛洪网络。这些测试都是面向每 3 秒发送一次多播的相对较轻型的网络。在我们的测试中，我们注意到随着该多播载荷的增加，部分网络的性能会进一步恶化。

每个堆栈要测试的网络包括：

- 小型网络：24 个设备
- 中型网络：1 - 48 个设备
- 中型网络：2 - 96 个设备
- 大型网络：1 - 144 个设备
- 大型网络：2 - 192 个设备

对于其中的任意测试，网络目标 $\pm 10\%$ 范围内的任何数量的设备都是可以接受的。这些网络都配置为受电设备。对于其中的每个网络，测试都将验证一系列流量条件下的可靠性和延迟。测试使用超过 100 个数据包。

2.2.1 小型网络和不同的数据包大小

对于所有这些网络，我们都从小型网络和小型有效荷载开始，并将其作为最简单的比较点。如下所示，所有三个网状网络都有非常好的性能，延迟低于 200 毫秒。

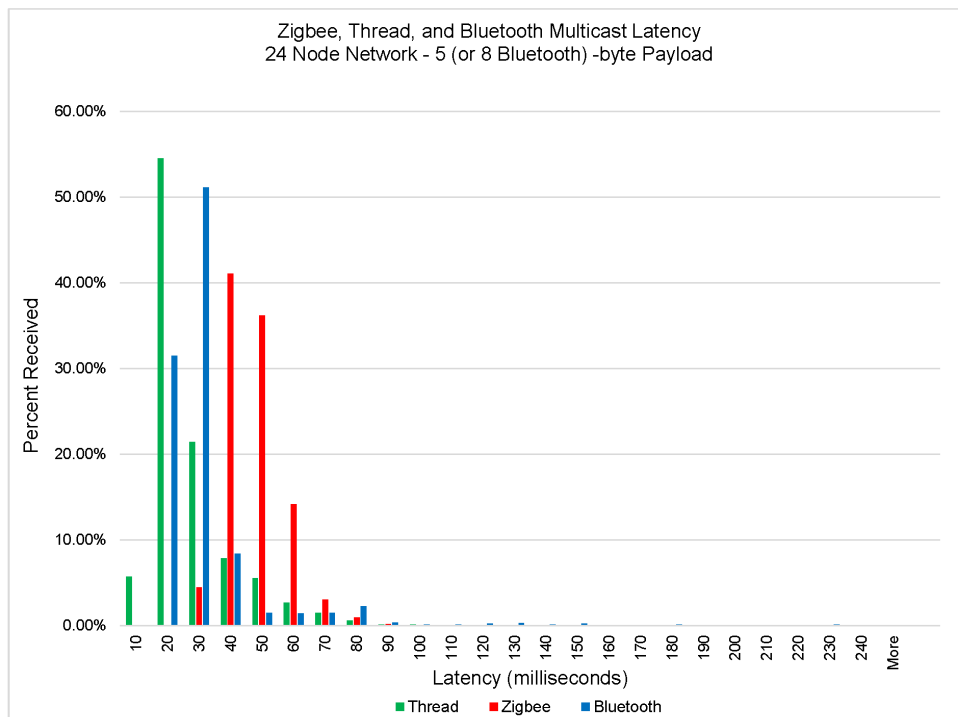


Figure 2.6. Zigbee、Thread 和 Bluetooth 多播延迟 24 节点网络 - 5 (或 8 Bluetooth) 字节有效荷载

随着数据包大小增加，我们开始看到多播延迟的一些差异，即它在增加和扩散。Thread 延迟略微增加，Zigbee 增加并扩散，Bluetooth Mesh 变得非常分散，延迟范围从 20 毫秒到 220 毫秒。

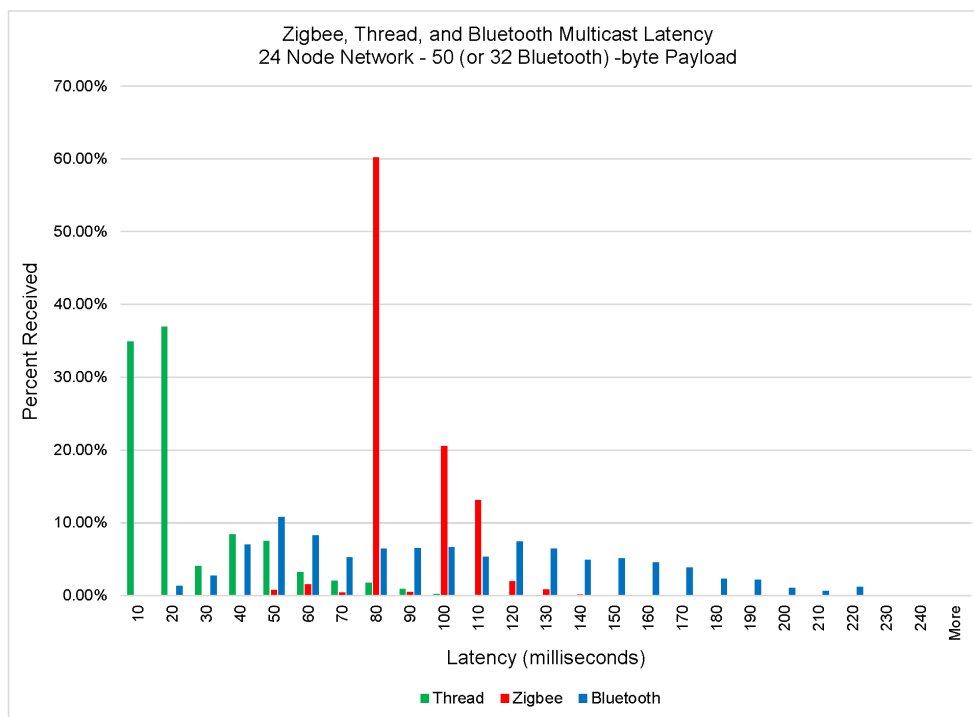


Figure 2.7. Zigbee、Thread 和 Bluetooth 多播延迟 24 节点网络 - 50 (或 32 Bluetooth) 字节有效荷载

2.2.2 大型网络和不同的数据包大小

随着网络规模的扩大，我们预计由于拥塞增加和网络中的跳频数增加而会导致延迟增加。因为这是一个露天网络，所以我们不控制特定消息所需的跳频数，我们只记录实际结果。下面的图表显示，对于小型数据包大小，所有三个网络的行为都合理，并且延迟增加和扩散，以及到较长的延迟时间。唯一值得注意的是大约 3% 的蓝牙数据包延迟大于 250 毫秒。

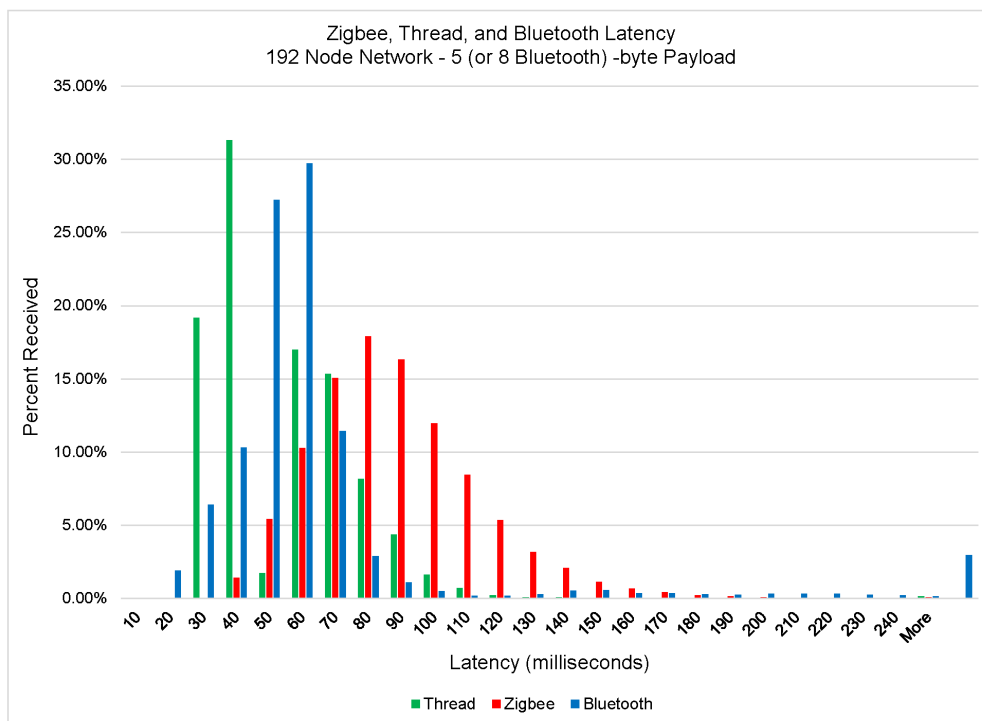


Figure 2.8. Zigbee、Thread 和 Bluetooth 多播延迟 192 节点网络 - 5 (或 8 Bluetooth) -字节有效荷载

随着数据包有效荷载的增加，我们预计各个网状网络的延迟会进一步增加，特别是在较大的网络中，由于多播泛洪，数据包碎片会导致更多的拥塞。我们只稍微增加了有效荷载，但看到延迟显著扩散。在下面的图中，我们增加了 X 轴以更好地显示这个较大网络中的延迟扩散。所有的网络都扩散，但 Bluetooth 网络的扩散时间远超 500 毫秒。数据包大小的进一步增加只会使扩散变得更糟。

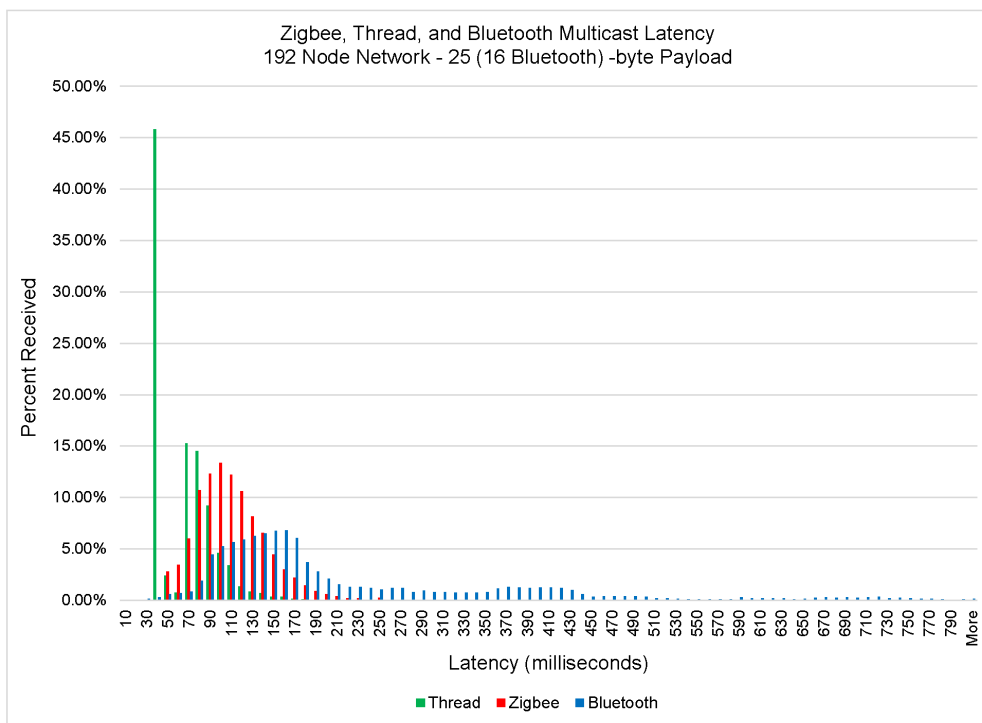


Figure 2.9. Zigbee、Thread 和 Bluetooth 多播延迟 192 节点网络 - 25 (或 16 Bluetooth) -字节有效荷载

3. 摘要

对比不同的网状技术，设计人员可以查看不同条件下的预期性能。为了尽可能公平地进行比较，我们在基本相同的开放办公条件下使用相同的无线设备进行这些测试。我们尽量减少了影响测试的其他因素，例如开发套件中的反向信道时序、测试基础设施中的延迟，以及无线架构或 MCU 速度的差异，这些都会影响结果。即使控制了这些因素，我们也必须意识到这些结果是我们的第一次尝试，在标准或在我们的实施中可能会有进一步的优化和改进。我们从 2005 年已经开始使用 Zigbee 运行这些测试，Thread 为 2015 年，Bluetooth 为从去年开始。

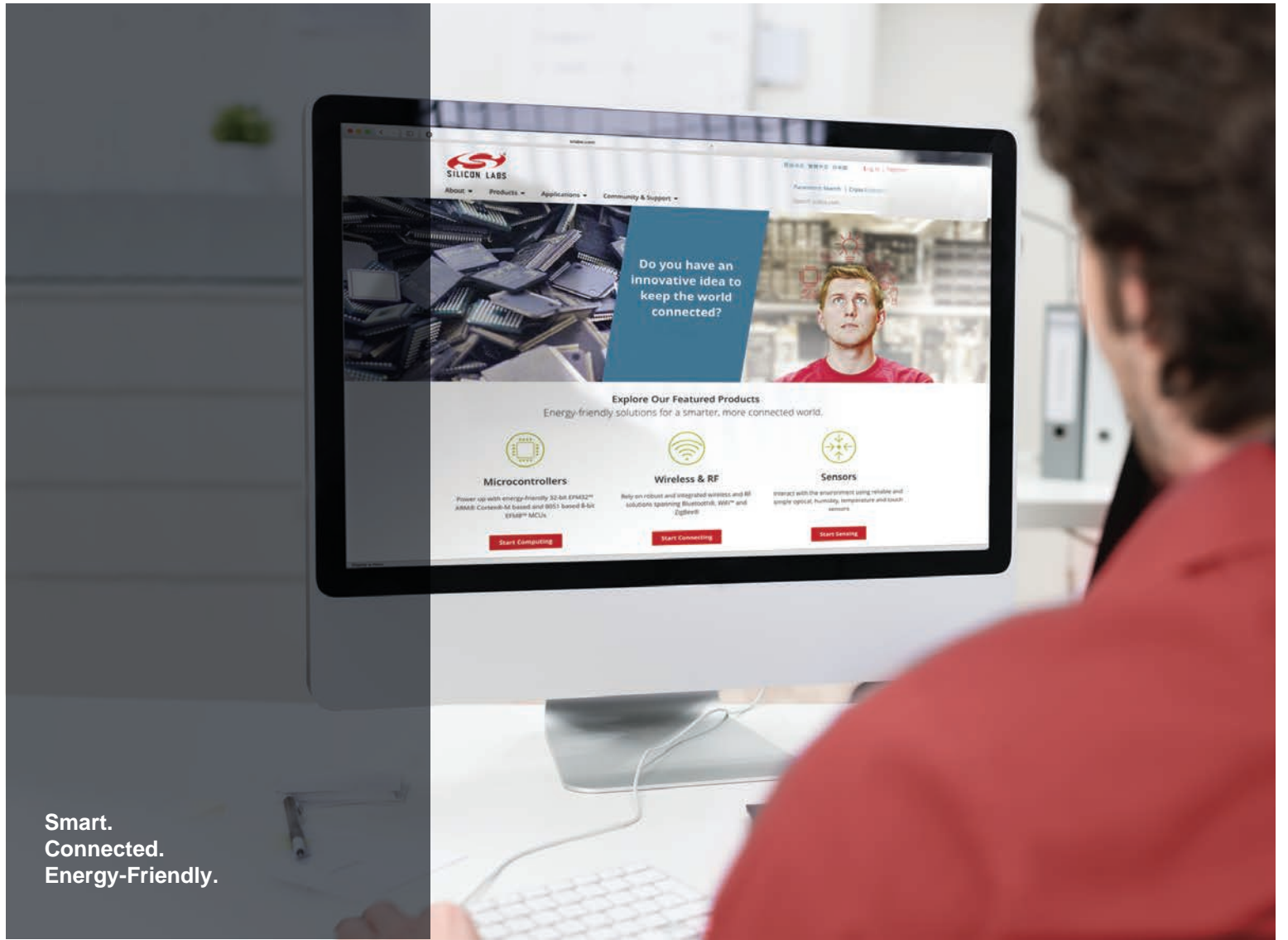
每个网状网络都有不同的设计和行为。一种网络无法完美适用所有情况，因此选择特定的技术需要考虑电池寿命、预期生态系统和首选连接以及设备和网络性能要求等标准。本应用指南仅比较这些网络的性能，而非其他关键参数。

从性能的角度来看，我们发现所有小型有效荷载的相对较小的网络都有相似的性能。随着有效荷载大小和吞吐量需求的增加，Thread 和 Zigbee 能更好地承载有效荷载并保持较低的延迟。所有大型网络的延迟都会增加，但 Bluetooth 的增长幅度最大。如果在这些较大的网络中增加有效荷载，我们会看到更大幅度的延迟增加。这个增长是预期中的；因此，较大的网络应使用路由解决方案以最大限度地减少延迟。然而，在我们所有的多播测试中，我们应该注意到，我们的可靠性通常为 99.9% 甚至更高，这是因为多播在保证消息传递方面确实做得很好。

3.1 相关文献

本应用指南提供了三种网状网络技术的对比，即 Bluetooth、Zigbee 和 Thread。有关每种技术的具体信息，请参阅以下应用指南：

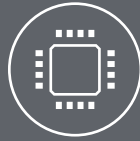
- [AN1137: Bluetooth 网络性能](#)
- [AN1138: Zigbee 网状网络性能](#)
- [AN1141: Thread 网状网络性能](#)



Smart.
Connected.
Energy-Friendly.



Products
www.silabs.com/products



Quality
www.silabs.com/quality



Support and Community
community.silabs.com

Disclaimer
Silicon Labs intends to provide customers with the latest, accurate, and in-depth documentation of all peripherals and modules available for system and software implementers using or intending to use the Silicon Labs products. Characterization data, available modules and peripherals, memory sizes and memory addresses refer to each specific device, and "Typical" parameters provided can and do vary in different applications. Application examples described herein are for illustrative purposes only. Silicon Labs reserves the right to make changes without further notice to the product information, specifications, and descriptions herein, and does not give warranties as to the accuracy or completeness of the included information. Without prior notification, Silicon Labs may update product firmware during the manufacturing process for security or reliability reasons. Such changes will not alter the specifications or the performance of the product. Silicon Labs shall have no liability for the consequences of use of the information supplied in this document. This document does not imply or expressly grant any license to design or fabricate any integrated circuits. The products are not designed or authorized to be used within any FDA Class III devices, applications for which FDA premarket approval is required, or Life Support Systems without the specific written consent of Silicon Labs. A "Life Support System" is any product or system intended to support or sustain life and/or health, which, if it fails, can be reasonably expected to result in significant personal injury or death. Silicon Labs products are not designed or authorized for military applications. Silicon Labs products shall under no circumstances be used in weapons of mass destruction including (but not limited to) nuclear, biological or chemical weapons, or missiles capable of delivering such weapons. Silicon Labs disclaims all express and implied warranties and shall not be responsible or liable for any injuries or damages related to use of a Silicon Labs product in such unauthorized applications.

Trademark Information
Silicon Laboratories Inc.®, Silicon Laboratories®, Silicon Labs®, SiLabs® and the Silicon Labs logo®, Bluegiga®, Bluegiga Logo®, ClockBuilder®, CMEMS®, DSPLL®, EFM®, EFM32®, EFR®, Ember®, Energy Micro, Energy Micro logo and combinations thereof, "the world's most energy friendly microcontrollers", Ember®, EZLink®, EZRadio®, EZRadioPRO®, Gecko®, Gecko OS, Gecko OS Studio, ISOModem®, Precision32®, ProSLIC®, Simplicity Studio®, SiPHY®, Telegesis, the Telegesis Logo®, USBXpress®, Zentri, the Zentri logo and Zentri DMS, Z-Wave®, and others are trademarks or registered trademarks of Silicon Labs. ARM, CORTEX, Cortex-M3 and THUMB are trademarks or registered trademarks of ARM Holdings. Keil is a registered trademark of ARM Limited. Wi-Fi is a registered trademark of the Wi-Fi Alliance. All other products or brand names mentioned herein are trademarks of their respective holders.



Silicon Laboratories Inc.
400 West Cesar Chavez
Austin, TX 78701
USA

<http://www.silabs.com>