

Application Note

TI Wi-SUN® 网络性能



Liangcheng Tao, Henry Isobe, Simeon Aleksandrov, and Robert Liang

摘要

本应用手册提供了 TI Wi-SUN® 网络性能研究的结果，涵盖多种网络和栈配置。除测试方法和结果之外，本文档还简要概述了 Wi-SUN 现场局域网 (FAN) 栈。这些结果旨在为不同网络配置下的设计实践以及实际应用中的预期性能提供通用指南。

有关 API 和实现细节的更多信息，请参阅 [TI Wi-SUN 栈用户指南](#) 和 [SIMPLELINK-LOWPOWER-SDK 产品页面](#)。

内容

1 首字母缩写词.....	3
2 简介.....	4
3 网络配置.....	5
4 Wi-SUN FAN 和加入流程.....	6
4.1 Wi-SUN FAN.....	6
4.2 加入流程.....	6
5 测试结果.....	8
5.1 加入时间 - 最大限度地提高响应能力、平衡模式、最大限度地提高可扩展性.....	8
5.2 重新加入时间 - 一个路由器节点.....	9
5.3 重新加入时间 - 全网络.....	10
5.4 吞吐量 - 最大限度地提高响应能力、平衡模式、最大限度地提高可扩展性.....	12
5.5 BR 检测 RN 断开连接.....	14
5.6 RN 检测 BR 断开连接.....	15
6 延迟.....	16
7 首选父项和已断开连接的父项.....	18
7.1 首选父项.....	18
7.2 已断开连接的父项.....	19
7.3 首选父项和已断开连接的父项的测试结果.....	20
8 其他信息.....	21
9 总结.....	22
10 参考资料.....	22

插图清单

图 3-1. SysConfig 网络配置设置菜单.....	5
图 4-1. FAN 示例.....	6
图 4-2. 路由器节点加入流程.....	7
图 5-1. LNT 电路板设置.....	8
图 5-2. 大型网络测试设置.....	8
图 5-3. Wi-SUN® 加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (50kbps PHY).....	8
图 5-4. Wi-SUN® 加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (300kbps PHY).....	9
图 5-5. 一个路由器节点的重新加入时间测试图.....	9
图 5-6. 一个路由器节点的重新加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置.....	10
图 5-7. 全网络重新加入时间测试设置.....	10

图 5-8. 全网络重新加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (50kbps PHY).....	11
图 5-9. 全网络重新加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (300kbps PHY).....	11
图 5-10. 一个路由器节点吞吐量测试图.....	12
图 5-11. 一个路由器节点吞吐量测试，针对 50kbps、150kbps、300kbps PHY.....	12
图 5-12. LNT 吞吐量测试配置.....	12
图 5-13. LNT 吞吐量测试，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (50kbps PHY).....	13
图 5-14. BR 检测 RN 断开连接的示例图.....	14
图 5-15. 最大限度地提高响应能力，BR 和 RN 断开连接检测用时设置.....	14
图 5-16. RN 检测 BR 断开连接的示例：初始设置.....	15
图 5-17. RN 检测 BR 断开连接的示例：断开 BR1 的连接并连接 BR2.....	15
图 6-1. 一个路由器节点的 Ping 延迟（以毫秒为单位），适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置.....	16
图 6-2. 一个路由器节点的 Ping 延迟（以毫秒为单位），适用于使用“最大限度地提高响应能力”网络配置的不同 PHY 配置.....	16
图 6-3. 单播 Ping 测试（以毫秒为单位），适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置.....	17
图 7-1. 首选父项示例：初始设置.....	18
图 7-2. 首选父项示例：连接到 RN4.....	18
图 7-3. 首选父项示例：观察 RN3 的重新路由情况.....	18
图 7-4. 已断开连接的父项示例：初始设置.....	19
图 7-5. 已断开连接的父项示例：断开 RN1 的连接.....	19
图 7-6. 已断开连接的父项示例：观察 RN4 之间的重新路由情况.....	19
图 8-1. “最大限度地提高响应能力”网络配置的 Ping 延迟柱状图（1 个路由器节点、50kbps）.....	21
图 8-2. “平衡模式”网络配置的 Ping 延迟柱状图（1 个路由器节点、50kbps）.....	21
图 8-3. “最大限度地提高可扩展性”网络配置的 Ping 延迟柱状图（1 个路由器节点、50kbps）.....	21

表格清单

表 1-1. 首字母缩写词列表.....	3
表 2-1. TI Wi-SUN 支持.....	4
表 3-1. LNT 网络配置选项.....	5
表 5-1. BR 和 RN 断开连接检测用时的网络配置默认设置.....	14
表 5-2. BR 检测 RN 断开连接的用时，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置.....	14
表 5-3. RN 检测 BR 断开连接的用时，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置.....	15
表 7-1. “最大限度地提高响应能力”网络配置的首选父项测量结果 (50kbps PHY).....	20
表 7-2. 已断开连接的父项测量结果，适用于“最大限度地提高响应能力”网络配置 (50kbps PHY).....	20

商标

Code Composer Studio™ is a trademark of Texas Instruments.

Wi-SUN® is a registered trademark of Wi-SUN Alliance.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 首字母缩写词

表 1-1. 首字母缩写词列表

首字母缩写词	定义
LNT	大型网络测试
Wi-SUN FAN	无线智能公用事业网络现场局域网
IDE	集成开发环境
SDK	软件开发套件
RTOS	实时操作系统
UDP	用户数据报协议
RFC	请求注释
IOT	物联网
IETF	互联网工程任务组
FAN	现场局域网
CCS	Code Composer Studio
RN	路由器节点
BR	边界路由器
PAN	个人局域网
GTK	组瞬态密钥
PHY	OSI 模型的物理层
EAPOL	LAN 上的可扩展身份验证协议
IPv6	互联网协议版本 6
IPv4	互联网协议版本 4
WAN	广域网
DLMS/COSEM	电能计量的器件语言消息规范和配套规范
CSMA/CA	具有防碰撞功能的载波侦听多路访问

2 简介

Wi-SUN 是一种无线通信标准，旨在通过通常由线路供电的路由器和网关组成的网络，在网状结构中实现大规模物联网网络。[Wi-SUN® 联盟](#)拥有来自 46 个国家/地区的 300 多个成员，在全球部署了 1 亿多台器件。Wi-SUN FAN v1.0 设计基于在符合 Wi-SUN 标准的 TI 15.4 栈频率跳频方案之上集成的开源 IETF RFC 元件。网络接口模型基于开源 SPINEL 接口提供。客户通常使用 UDP 作为传输层在 IPv6 之上开发应用。Wi-SUN FAN 栈可适应开源元件中的 6LoWPAN、RPL、IPv6、ICMPv6 和 UDP 层。Wi-SUN FAN v1.0 设计针对较小的存储器占用空间进行了优化，以适应嵌入式器件。软件栈的集成和测试是在已标记的、经过认证的版本中完成的。德州仪器 (TI) 已通过 Wi-SUN 联盟认证了多个 FAN 标准，可在 CC13x2x 和 CC13x4x10 器件上使用。由于内部存储器的限制，并非每个器件都支持 FAN 标准。[表 2-1](#) 概述了本文档发布时支持的软件和器件。

表 2-1. TI Wi-SUN 支持

元件	版本
TI WiSUN FAN	1.0
经销商	作为库代码包含在用于 CC13x2 和 CC13x4 器件的 SDK8.30 中
IDE 支持	Code Composer Studio™ (CCSTUDIO)
编译器支持	TI Clang 2.1 LTS
RTOS 支持	TI-RTOS、Free RTOS
支持的器件	边界路由器： CC1312R7 、 CC1352P7 、 CC1314R10 、 CC1354R10 、 CC1354P10 路由器节点： CC1312R 、 CC1312PSIP 、 CC1352R 、 CC1352P 、 CC1312R7 、 CC1352P7 CC1314R10 、 CC1354R10 、 CC1354P10

本应用手册旨在通过使用 CC1312R1、CC1312R7、CC1352R1、CC1354P10-1 测试性能来介绍网状网络性能、加入速度和可靠性。

3 网络配置

本节介绍了 TI Wi-SUN FAN 网络中不同的网络标准。与大多数无线网络一样，Wi-SUN 网络也有控制流量（路由数据包、相邻节点发现、链路维护等），这有助于形成网络、确定数据包的路由路径并处理断开的链路。控制流量的增加意味着不同协议层的超时时间可能更短，从而提升网络的响应速度。但是，此类控制流量的协议开销也会占用无线传输时间，从而限制了可用于应用数据流量的最大网络容量。

TI Wi-SUN FAN 解决方案定义了三种标准，这些标准决定了网络控制数据包的开销大小。每种标准都有建议的配置，可根据任何其他要求更改这些配置。使用 SysConfig 可以快速选择这些标准。[表 3-1](#) 简要概述了每种网络标准之间的差异。

表 3-1. LNT 网络配置选项

网络标准	配置简介
最大限度地提高响应能力	由于协议超时时间缩短，网络控制数据包流量增加。
平衡模式	与其他两种标准相比，平衡网络开销和应用流量。
最大限度地提高可扩展性	旨在最大限度地减少每个节点的网络控制流量，以提高整体网络容量，但代价是每个设备的响应能力会降低。

SysConfig 可用于根据 [表 3-1](#) 选择所需的网络标准。每种标准的更改字段可在高级设置选项卡下找到，如 [图 3-1](#) 所示。

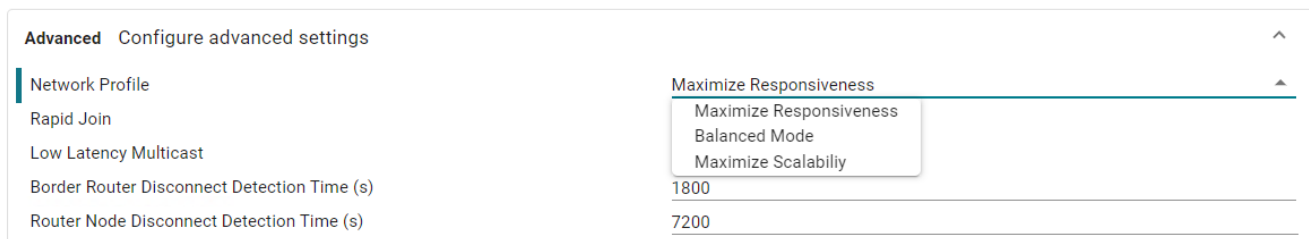


图 3-1. SysConfig 网络配置设置菜单

4 Wi-SUN FAN 和加入流程

本应用手册的此部分通过举例说明网络连接以及路由器节点加入网络必须经历的过程，简要介绍了 Wi-SUN FAN。

4.1 Wi-SUN FAN

规模较大的现场局域网示例如 [图 4-1](#) 所示。这种网络用于需要进行大规模通信的设备。例如，城市内部的路灯或工厂中互联的传感器。

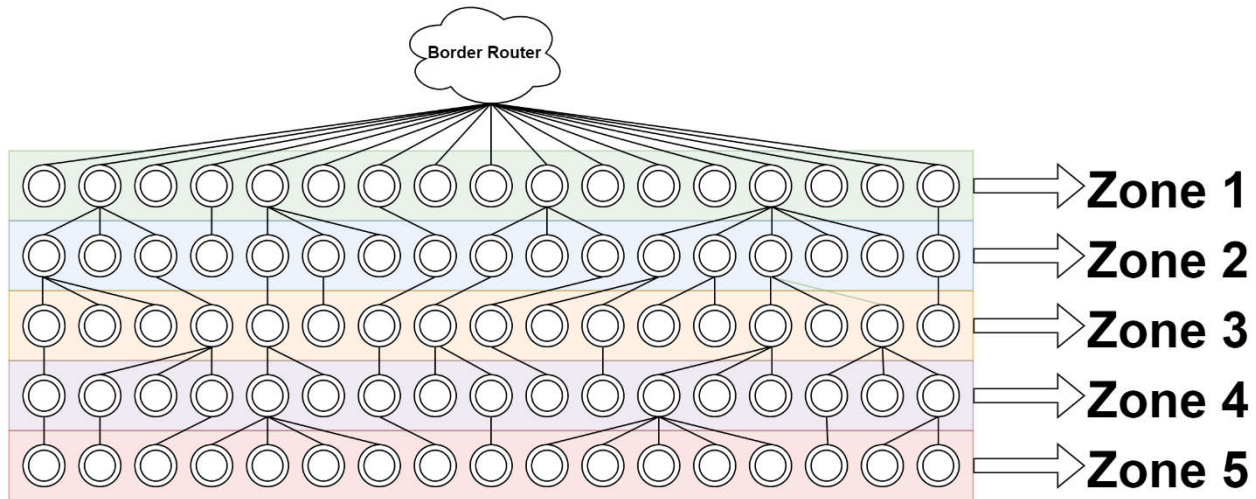


图 4-1. FAN 示例

FAN 由许多小型个人局域网 (PAN) 组成。[图 4-1](#) 展示了一个 PAN 的分布示例，其中边界路由器 (BR) 作为 WAN 连接的头器件，许多路由器节点 (RN) 作为终端器件。BR 会跟踪网络中所有路由器节点的地址并管理到这些节点的路由。每个 RN 可在 PAN 内部向上和向下转发数据包，并可用于通过共享新设备的安全和地址协议向网络中添加新设备。有关 Wi-SUN FAN 的更多信息，请参阅 [TI Wi-SUN FAN](#)。

4.2 加入流程

路由器节点可以通过在该区域发送 PAN 广告请求来加入网络，从而获得周围网络的图像。路由器节点使用网络的 PAN ID 选择要加入的网络，从而通过 EAPOL 层启动身份验证流程。经过身份验证后，系统会执行安全交换，这会导致路由器节点接收 GTK。使用 GTK 对传入的配置消息进行解密，从而安全地完成进一步的 PAN 配置。PAN 配置完成后，路由器节点将与网络交换路由信息。如果成功完成此操作，则加入的设备将在网络中变成可操作的路由器节点。加入的路由器节点可以向网络添加新的路由器节点。[图 4-2](#) 显示了流程步骤。[TI Wi-SUN 栈用户指南](#)中对每种状态进行了更详细的说明。

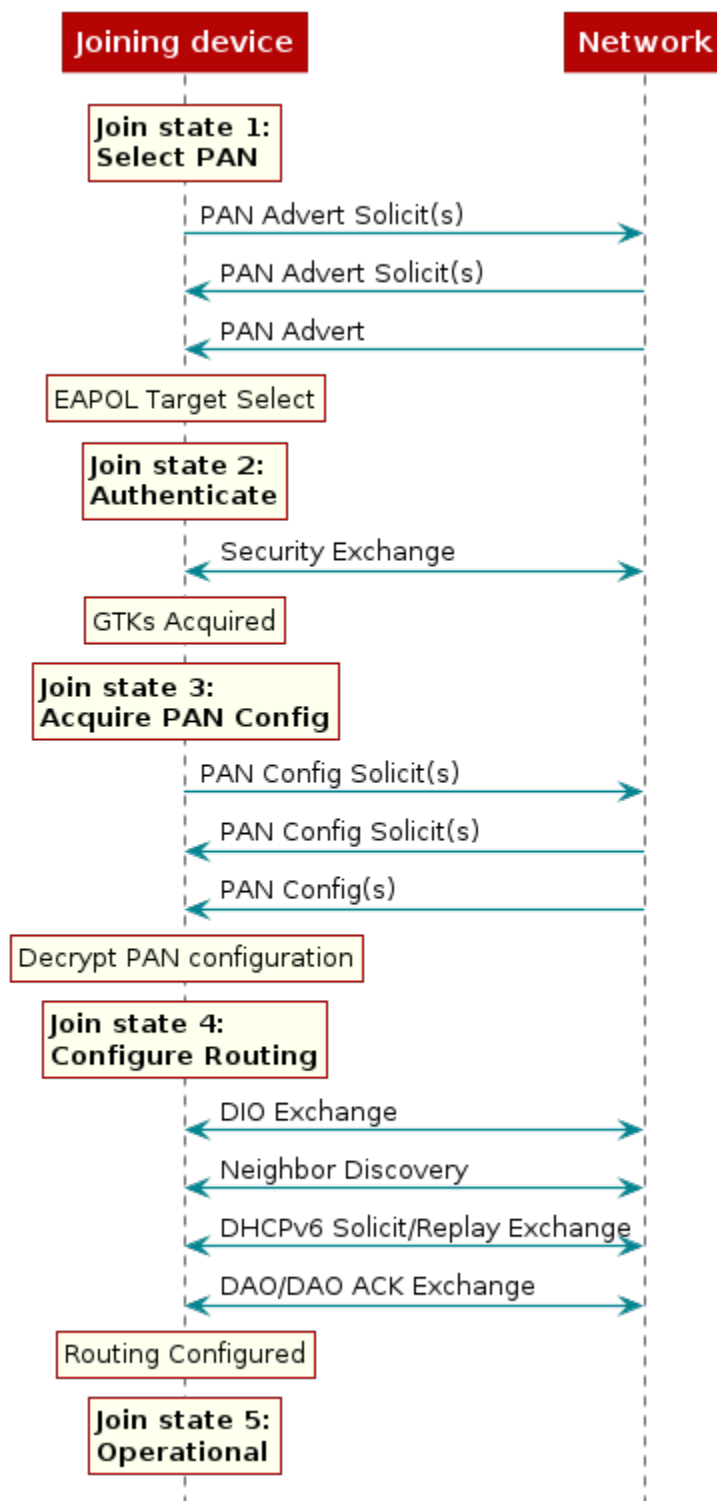


图 4-2. 路由器节点加入流程

5 测试结果

本章所示的测试是使用 表 2-1 中所示的 SDK 版本执行的。有关用于测量的电路板配置，请参阅 图 5-1。



图 5-1. LNT 电路板设置

5.1 加入时间 - 最大限度地提高响应能力、平衡模式、最大限度地提高可扩展性

加入时间是所有路由器节点加入新网络所需的时间。对于每种网络配置，使用 图 5-2 中所示的设置执行测试。图 5-3 绘制网络中加入的节点数与执行此操作所需的时间之间的关系。

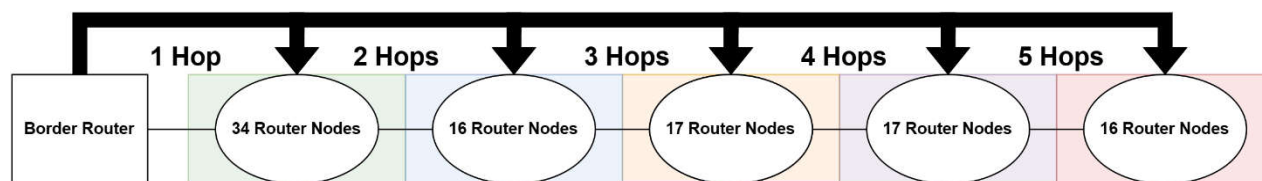


图 5-2. 大型网络测试设置

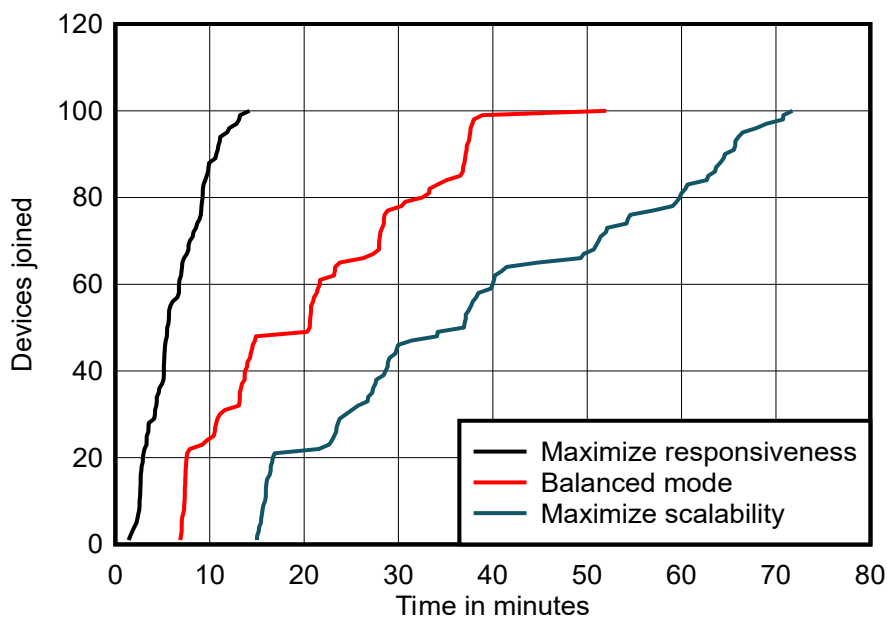


图 5-3. Wi-SUN® 加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (50kbps PHY)

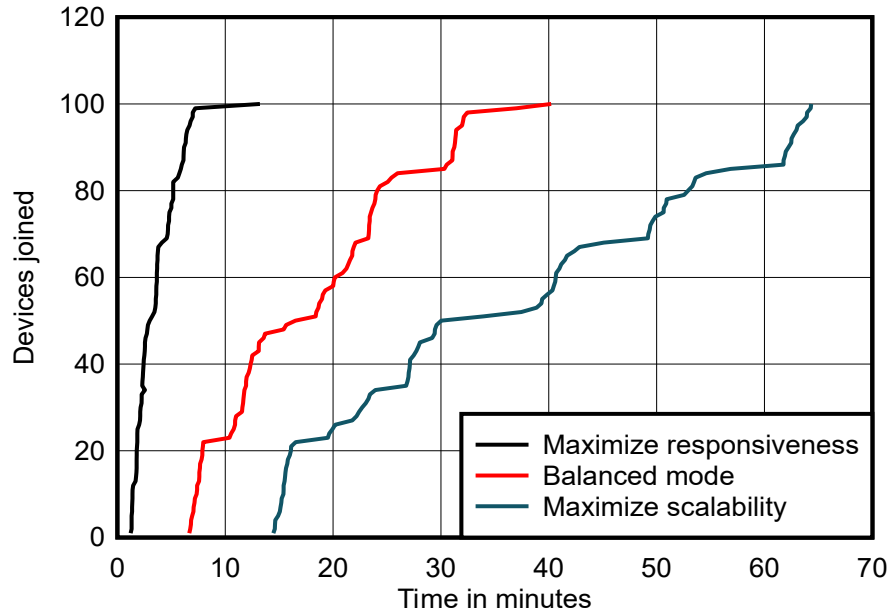


图 5-4. Wi-SUN® 加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (300kbps PHY)

根据 节 3 中每种配置的定义，“最大限度地提高响应能力”网络配置的连接速度最快，这与预期的结果相符。

虽然 300kbps 的加入时间较短（因为数据传输速率较高），但这并没有带来显著或成比例的性能提升。这是符合预期的，因为决定加入时间的因素在于协议栈中不同层的协议计时器配置。

5.2 重新加入时间 - 一个路由器节点

在运行期间，断开路由器节点与网络的连接。一个路由器节点的重新加入时间用于测量路由器节点重新连接回 PAN 所需的时间。测量是通过断开完全连接网络中的设备来完成的（请参阅 图 5-5）并在每个网络配置（最大限度地提高响应能力、平衡模式、最大限度地提高可扩展性）中进行的。

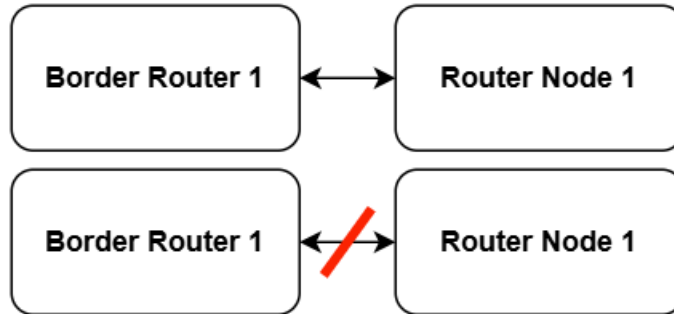


图 5-5. 一个路由器节点的重新加入时间测试图

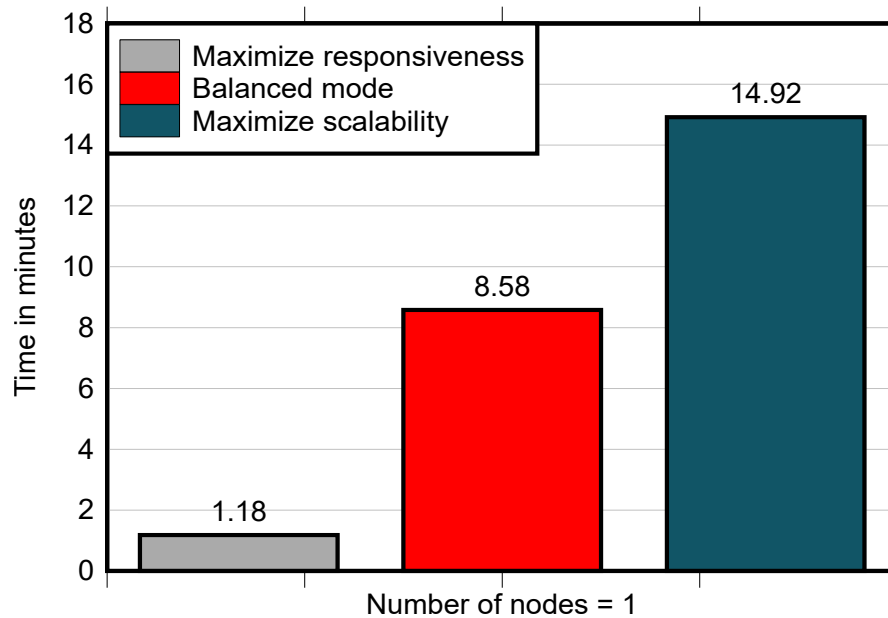


图 5-6. 一个路由器节点的重新加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置

与加入时间结果类似，由于 RN 和 BR 之间交换的消息数量在一段时间内增加，能够最大限度地提高响应能力的网络可以最快地重新加入。

5.3 重新加入时间 - 全网络

与 1RN 重新加入时间类似，全网络重新加入时间会测量每个路由器节点重新连接回边界路由器器件的时间。该测试用于模拟现场完全断电的场景，从而在路由器节点断电风险较高的区域估算性能。全网络重新连接测试使用与初始加入时间测试相同的拓扑，以避免因网络拓扑不同而发生可能的任何变化。图 5-7 展示了全网络重新连接测试的图表。重置所有路由器节点并测量重新加入网络的时间。

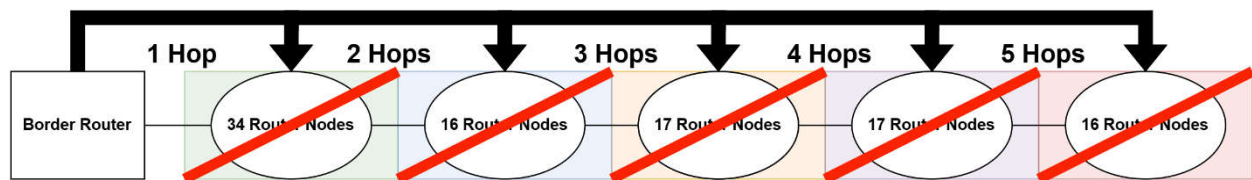


图 5-7. 全网络重新加入时间测试设置

图 5-8 和 图 5-9 展示了使用上述设置时的重新加入时间结果。测试使用 50kbps 和 300kbps PHY 运行。

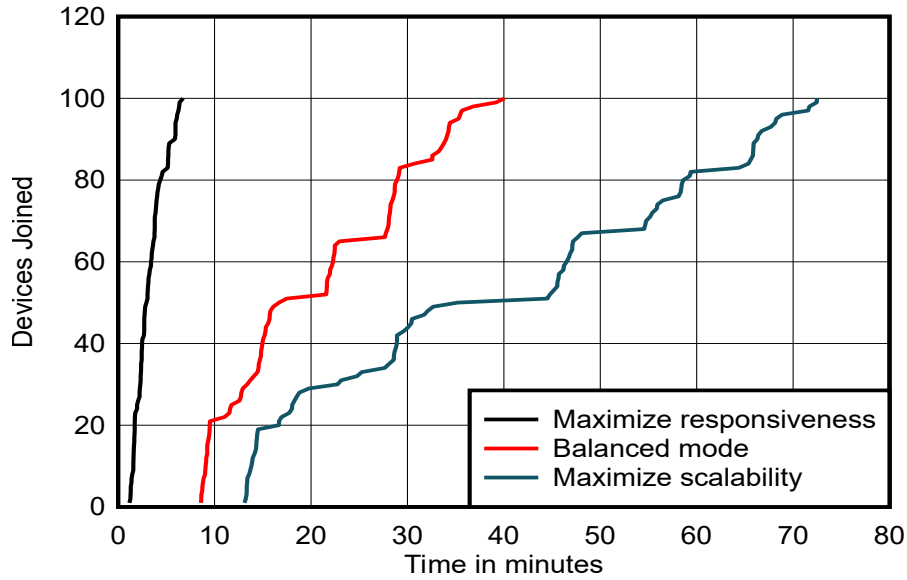


图 5-8. 全网络重新加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (50kbps PHY)

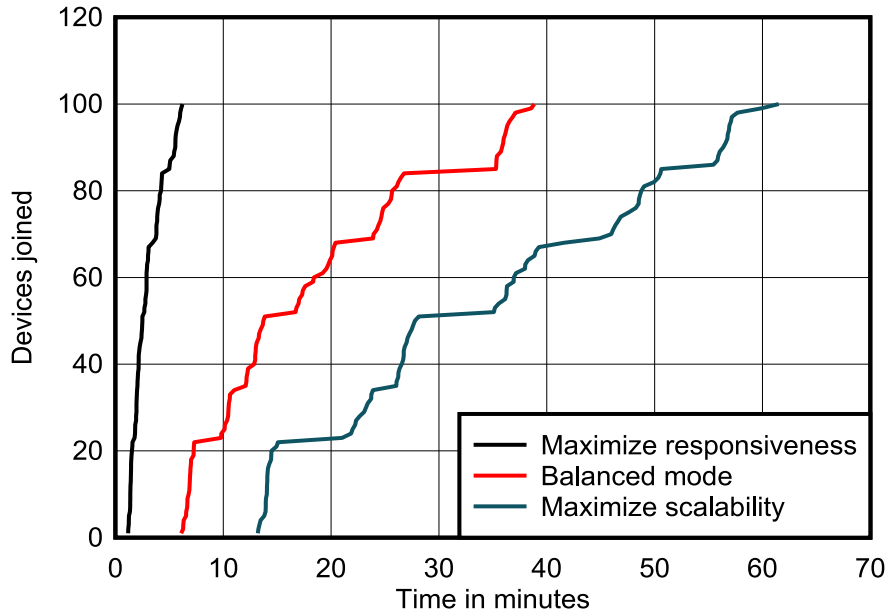


图 5-9. 全网络重新加入时间，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (300kbps PHY)

由于路由器节点已在初始加入期间完成配置，路由器节点可以保留配置和 GTK，这使得重新加入时间比初始加入时间更短。对于最大限度地提高响应能力和平衡模式配置，PHY 不会产生太大影响，因为决定因素仍然是协议计时器。但是，对于最大限度地提高可扩展性，由于协议开销较低，协议计时器不再是唯一的决定因素，增加的数据速率可以显著改善重新加入时间。

5.4 吞吐量 - 最大限度地提高响应能力、平衡模式、最大限度地提高可扩展性

使用单播 iPerf 执行吞吐量测试。图 5-11 显示了使用 *最大限度地提高响应能力* 网络配置时，不同 PHY 的吞吐量。执行测试的方式是在连接到边界路由器的一个路由器节点之间发送 1,200 字节的有效载荷数据包 60 秒，如图 5-12 所示。

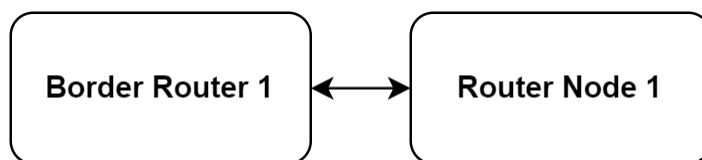


图 5-10. 一个路由器节点吞吐量测试图

在一个路由器节点吞吐量测试中，每个不同 PHY 的结果如图 5-11 所示。

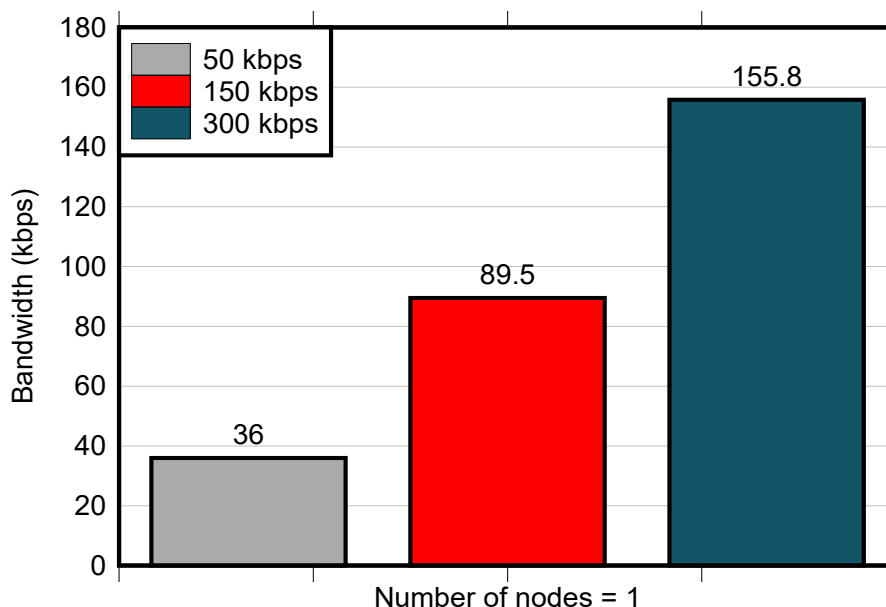
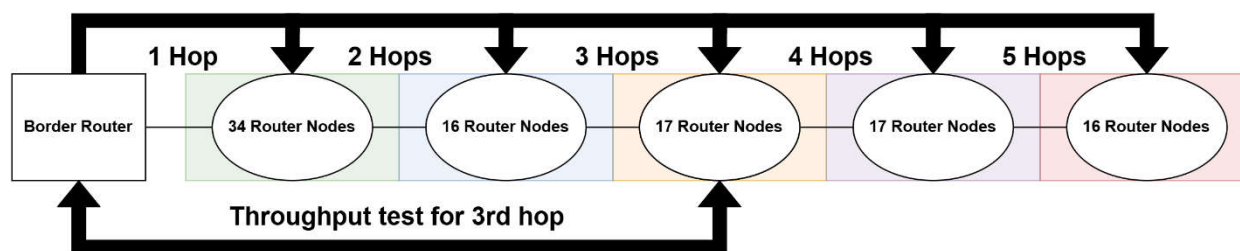


图 5-11. 一个路由器节点吞吐量测试，针对 50kbps、150kbps、300kbps PHY

图 5-11 显示了测量结果，表明随着数据传输速率的提高，吞吐量也有所增加，这与预期相符。在给定数据速率下，使用与连接测试相同的配置，对大型网络配置也重复进行吞吐量测试，以研究一对设备的吞吐量对跃点和其他相邻设备的影响，如图 5-12 所示。



A. 第 3 个跃点处的节点测试如图下方的箭头所示。

图 5-12. LNT 吞吐量测试配置

在上述网络完全连接后，通过从此跃点中选择三个不同的路由器节点并在边界路由器和每个节点之间发送 1,200 字节的有效载荷数据包 60 秒，测试每个跃点上的吞吐量。这会增加最大吞吐量，直到数据包错误率大于 2%。对每个跃点 (1-5) 和网络配置 (最大限度地提高响应能力、平衡模式、最大限度地提高可扩展性) 重复执行此测试。结果已在 图 5-13 中列出。

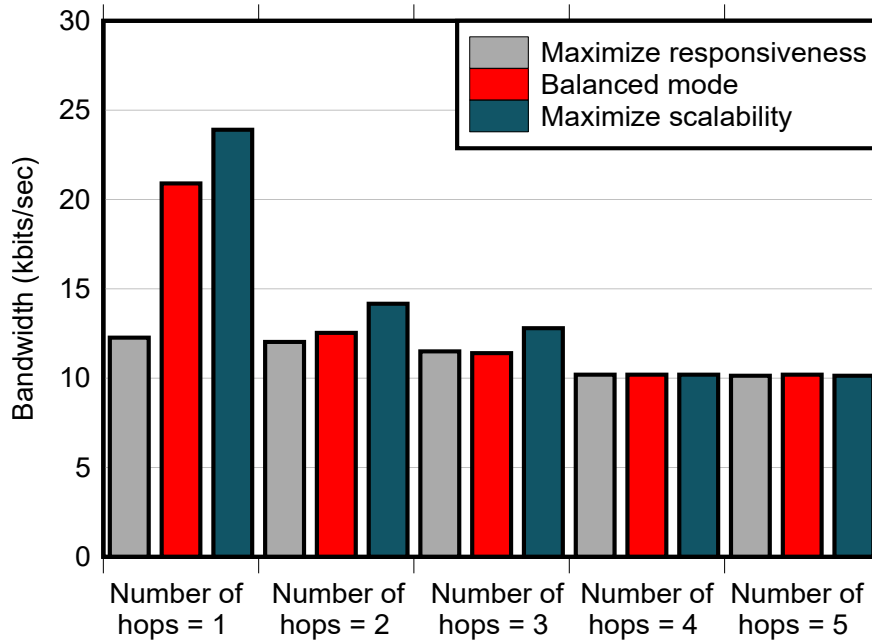


图 5-13. LNT 吞吐量测试，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置 (50kbps PHY)

吞吐量测试使用基于单播 iPerf 的流量执行，这些流量会将背对背 UDP 数据包注入网络。在默认的 TI Wi-SUN 配置中，广播停留时间和广播间隔时间分别设置为 250 毫秒和 1 秒，这意味着仅 75% 的广播时间可用于单播流量。考虑到数据速率为 50kbps，这意味着单播流量的最大可能网络容量为 37.5kbps。

对于控制开销最小并将大部分可用带宽留给数据吞吐量的最大限度地提高可扩展性配置，最终吞吐量约为 24kbps。这是网络容量的 65%，符合基于 CSMA 的网络的预期。

对于最大限度地提高响应能力配置，大约 12kbps 的数据吞吐量 (约占可用吞吐量的 33%) 意味着，最大限度地提高可扩展性配置中剩余 32% 的可用吞吐量被其他网络控制流量占用。

随着跃点的增加，与跨越给定数据包所需的总跃点相比，空间多样性有助于增加最大并行传输量。

在多跃点场景中，Wi-SUN 栈中的跳频方案利用网络频谱。理论上，如果其他一切正常，一个跃点网络的吞吐量为 X ，那么第 2 个跃点网络的吞吐量为 $\frac{1}{2}X$ (只有 1 个并行传输，以跨越 2 个跃点)。第 3 个跃点网络的吞吐量也为 $\frac{1}{2}X$ (可以是 1 或 2 个并行链路传输，以跨越 3 个跃点)。同样，第 4 个跃点网络和第 5 个跃点网络的吞吐量也为 $\frac{1}{2}X$ 。

在最大限度地提高可扩展性配置 (其中大部分网络容量用于应用吞吐量) 中，这种模式更加明显。对于最大限度地提高响应能力和平衡模式配置，应用吞吐量对于较高的跃点不会显示显著的比例损失，因为网络中所有节点的协议开销在整体流量中占主导地位，且这种开销会随着跃点的增加而相应增长。使用其他数据速率进行的吞吐量测试预计会显示类似的趋势，具体取决于可用的网络容量。

5.5 BR 检测 RN 断开连接

在网状网络运行期间，由于功率损耗、信号不良或其他环境因素，某些路由器节点可能会断开连接。为了了解边界路由器检测到这种断开连接所需的时间，图 5-14 概述了一个将两个路由器节点连接到边界路由器 1 的测试场景。

在测试期间，路由器节点 2 断开连接。记录边界路由器 1 检测到此变化所用的时间。

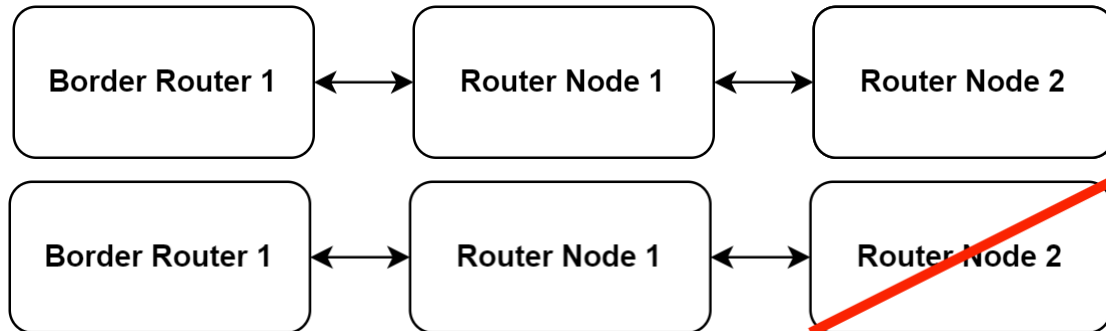


图 5-14. BR 检测 RN 断开连接的示例图

使用不同的网络配置时，通过 SysConfig 更改 BR 和 RN 断开连接检测用时，如 图 5-15 所示。

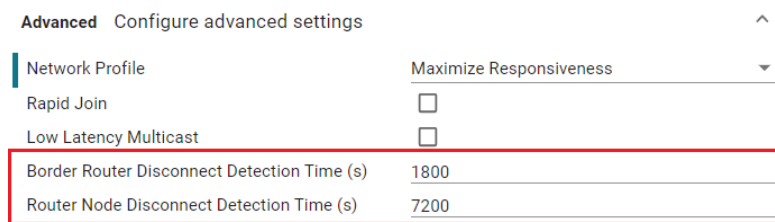


图 5-15. 最大限度地提高响应能力，BR 和 RN 断开连接检测用时设置

每项配置的默认值如 表 5-1 所示。选择这些值是为了减少对网络的影响，但通过采用激进的路由刷新策略或采用其他应用方法，仍可加快检测速度。

表 5-1. BR 和 RN 断开连接检测用时的网络配置默认设置

网络配置	默认路由器节点断开连接检测用时（以分钟为单位）	默认边界路由器断开连接检测用时（以分钟为单位）
最大限度地提高可扩展性	480	90
平衡模式	240	60
最大限度地提高响应能力	120	30

表 4 概述了边界路由器 1 检测路由器节点 2 断开连接所需的时间。

表 5-2. BR 检测 RN 断开连接的用时，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置

网络配置	检测断开连接的用时（以分钟为单位）
最大限度地提高可扩展性	478
平衡模式	238
最大限度地提高响应能力	119

考虑到协议计时器和测量精度，测得的时间与 SysConfig 中为每种网络标准设置的默认检测时间相匹配。

5.6 RN 检测 BR 断开连接

与上述场景类似，此场景概述了路由器节点检测到边界路由器端断开连接并尝试连接到具有相同网络名称的不同边界路由器所需的时间。图 5-16 显示了连接到边界路由器 1 的两个节点。

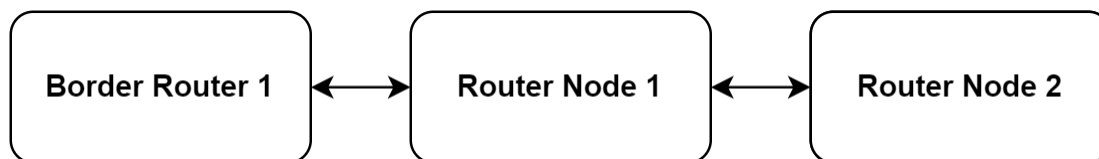


图 5-16. RN 检测 BR 断开连接的示例：初始设置

在测试期间，边界路由器 1 断开连接。具有相同网络名称的边界路由器 2 已打开。该测试用于测量路由器节点 1 检测到此变化并进行相应调整所用的时间。该过程如图 5-17 所示。

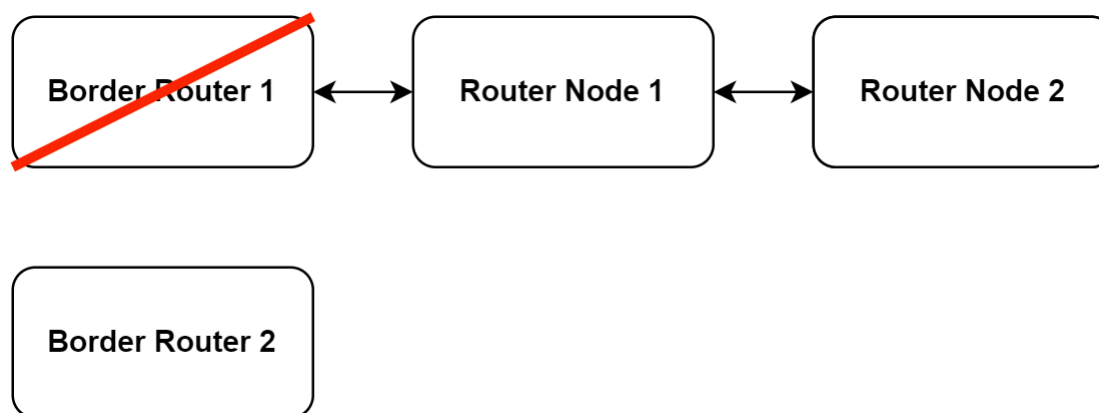


图 5-17. RN 检测 BR 断开连接的示例：断开 BR1 的连接并连接 BR2

使用表 3 中所示的相同默认断开连接时间，RN 检测 BR 断开连接的用时如表 5-3 所示。

表 5-3. RN 检测 BR 断开连接的用时，适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置

网络配置	检测断开连接的用时（以分钟为单位）
最大限度地提高可扩展性	89
平衡模式	58
最大限度地提高响应能力	26

与 BR 检测 RN 断开连接的用时类似，RN 检测 BR 断开连接的用时与 SysConfig 中设置的默认值相匹配。

6 延迟

图 6-1 概述了一个路由器节点的平均 Ping 延迟，并标有误差栏，表示测试过程中记录的最大和最小延迟值。该测试的设置是 BR 向 RN 发送 3,600 个大小为 64 字节的数据包；记录每个数据包的传输时间并绘制出平均值。

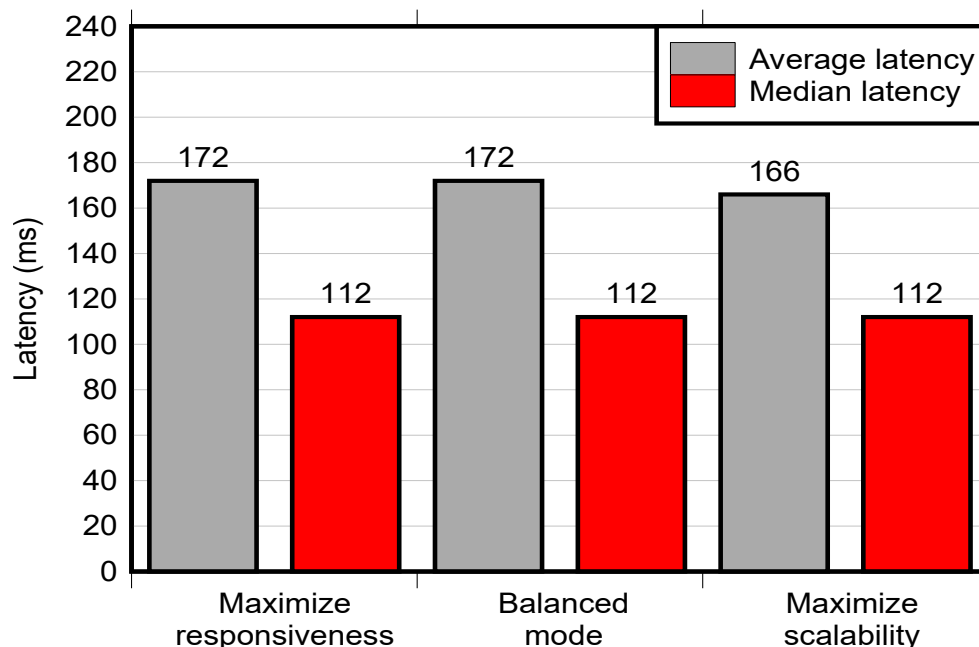


图 6-1. 一个路由器节点的 Ping 延迟（以毫秒为单位），适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置

测试结果表明，网络配置的变化不会对单个节点的延迟产生高裕度影响。每个网络配置的延迟测试的柱状图可在节 8 中找到。

图 6-2 显示了使用不同 PHY 的最大限度地提高响应能力网络配置中的延迟变化（以毫秒为单位）。

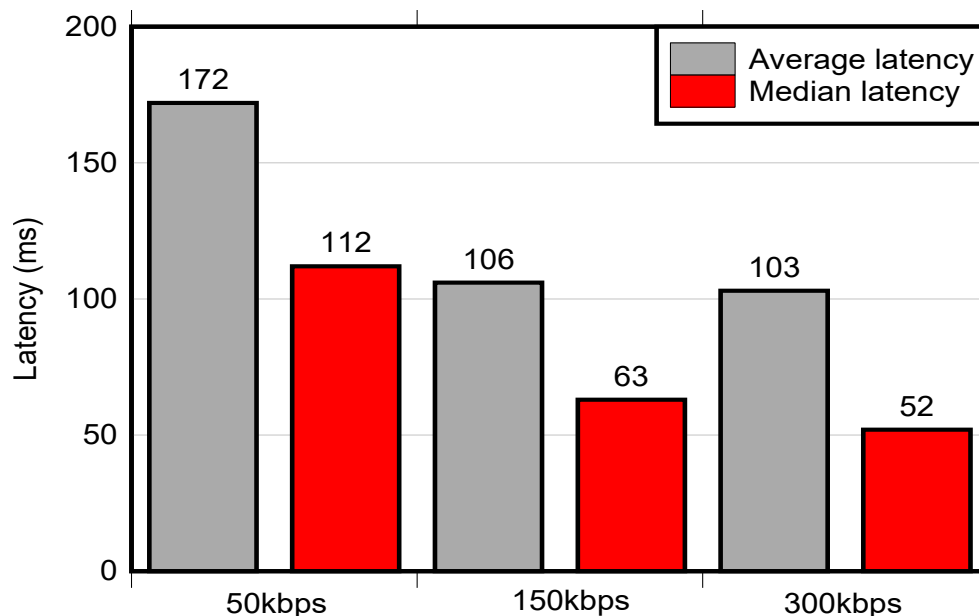


图 6-2. 一个路由器节点的 Ping 延迟（以毫秒为单位），适用于使用“最大限度地提高响应能力”网络配置的不同 PHY 配置

备注

提高 PHY 数据速率可以降低延迟。

图 6-3 显示了中间跃点因连接更多路由器节点而增加时，Ping 时间的变化（以毫秒为单位）。

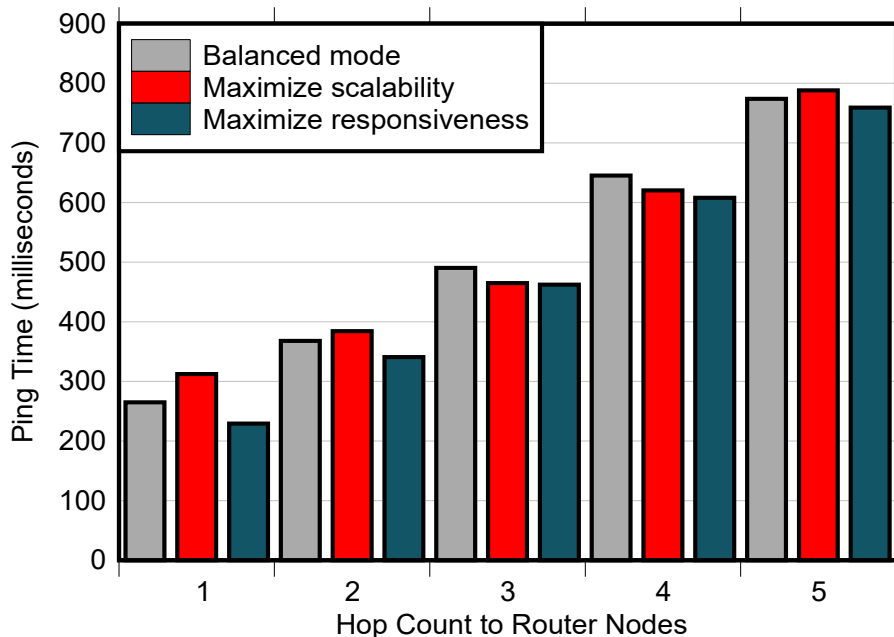


图 6-3. 单播 Ping 测试（以毫秒为单位），适用于“最大限度地提高响应能力”、“平衡模式”、“最大限度地提高可扩展性”网络配置

当跃点必须发送另一个控制数据包来转发此数据包时，给定的 Ping 数据包会因其中一个中间跃点而出现延迟。虽然出现这种情况的可能性随着控制开销的增加而增加，但预计仅网络的一小部分仍会发生这种情况。图 6-3 中显示的结果证实了这一点。

7 首选父项和已断开连接的父项

7.1 首选父项

首选父项测试案例显示路由器节点切换到不同父路由器节点以改善连接所需的时间。在此示例中，将显示一个无约束的 3 跃点网络，其中包含一个新的路由器节点并测量了切换所需的时间。图 7-1 中显示了该连接。

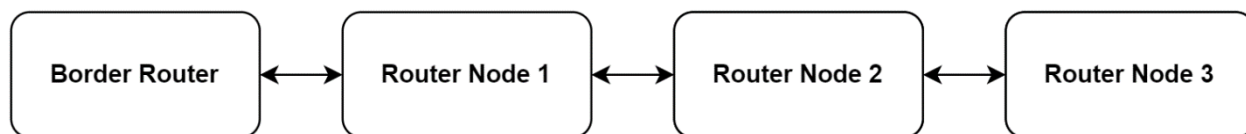


图 7-1. 首选父项示例：初始设置

路由器节点 4 引入网络中，允许相邻路由器节点用作通往边界路由器的备用路由（请参阅图 7-2）。

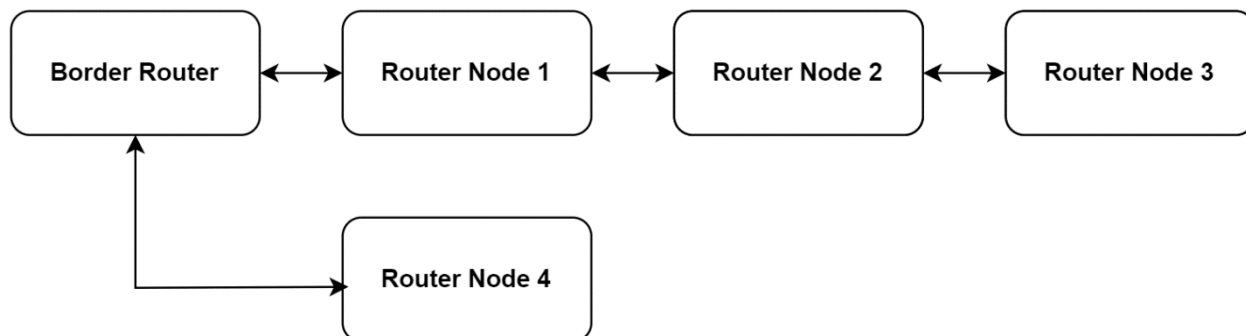


图 7-2. 首选父项示例：连接到 RN4

图 7-3 显示路由器节点 3 从路由器节点 2 切换到路由器节点 4，减少了与 BR 通信所需的跃点。

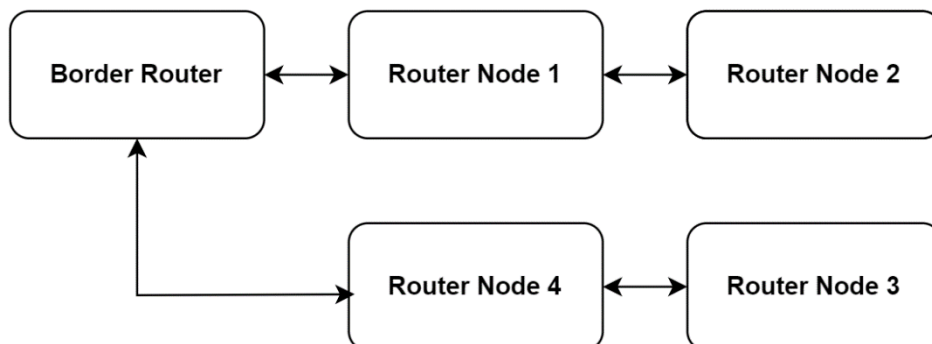


图 7-3. 首选父项示例：观察 RN3 的重新路由情况

7.2 已断开连接的父项

相同的配置（如节 7.1 所示）可用于概述已断开连接的父案例（请参阅图 7-4）。

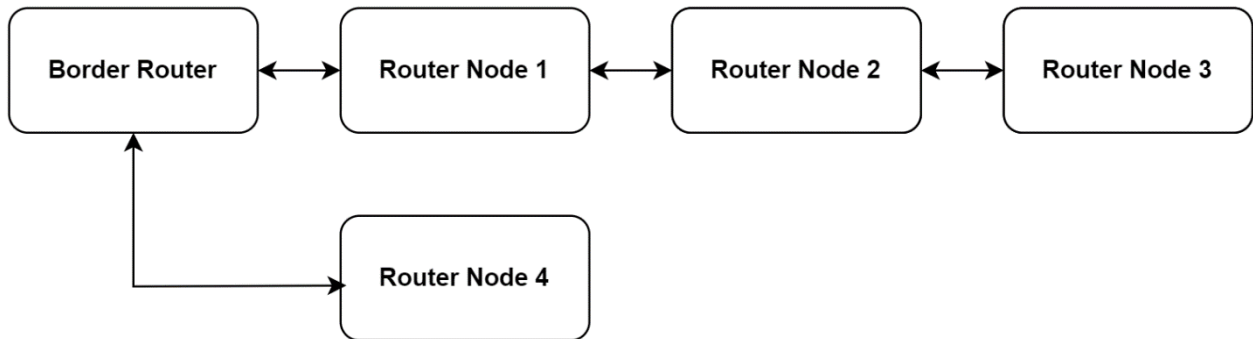


图 7-4. 已断开连接的父项示例：初始设置

在这种情况下，路由器节点 1 已断开连接，导致边界路由器与路由器节点 2 和 3 之间的通信中断，如图 7-5 所示。

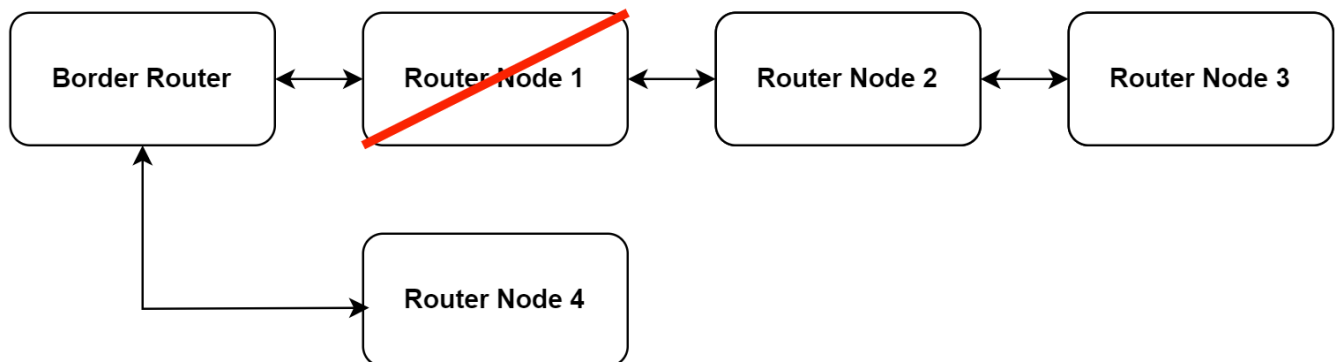


图 7-5. 已断开连接的父项示例：断开 RN1 的连接

当路由器节点 2 检测到父路由器节点断开连接时，路由器节点 2 将尝试连接到最近可用的备用路由器（请参阅图 7-6）。在此场景中为路由器节点 4

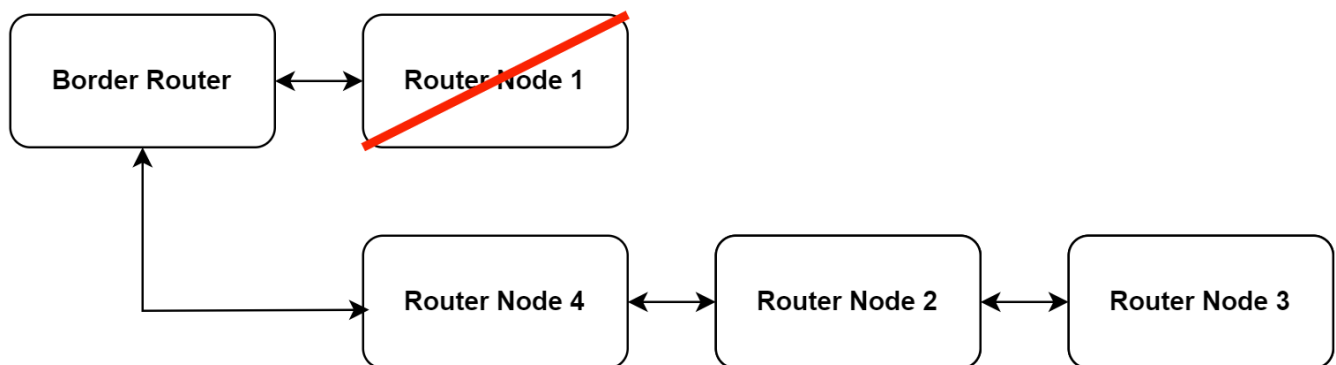


图 7-6. 已断开连接的父项示例：观察 RN4 之间的重新路由情况

7.3 首选父项和已断开连接的父项的测试结果

表 7-1 展示了在五次独立测试中记录的首选父项用时，在这些测试中，RN 必须更改首选父项。平均时间显示在表 7-1 的最后一行中。

表 7-1. “最大限度地提高响应能力”网络配置的首选父项测量结果 (50kbps PHY)

测试 #	时间 (秒)
1	46
2	36
3	41
4	66
5	51
平均	48

在首选的父项测试期间，路由器节点通常在不到一分钟的时间内完成重新配置。

与首选的父项测试类似，表 7-2 显示了在五个单独断开连接的父项测试中记录的用时，在这些测试中，RN 因链中先前的 RN 断开连接而必须更改父项。平均时间显示在表 7-2 的最后一行中。

表 7-2. 已断开连接的父项测量结果，适用于“最大限度地提高响应能力”网络配置 (50kbps PHY)

运行 #	时间 (秒)
1	73
2	156
3	110
4	141
5	108
平均	117

已断开连接的父项示例表明，路由器节点通常只需不到 2 分钟就能发现断开 BR 的链路并相应地完成自身的重新配置。但请注意，边界路由器断开连接的时间为 30 秒，使断开连接的父项检测时间降至 87 秒。

8 其他信息

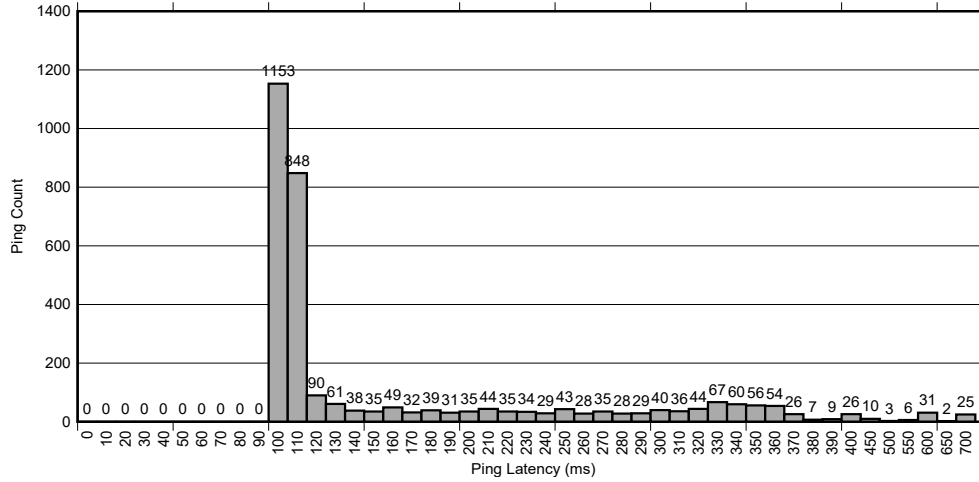


图 8-1. “最大限度地提高响应能力”网络配置的 Ping 延迟柱状图 (1 个路由器节点、50kbps)

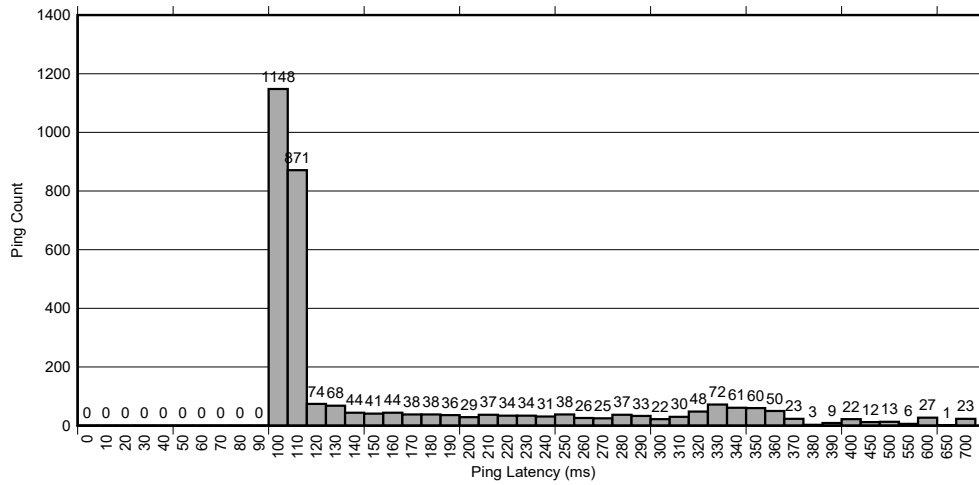


图 8-2. “平衡模式”网络配置的 Ping 延迟柱状图 (1 个路由器节点、50kbps)

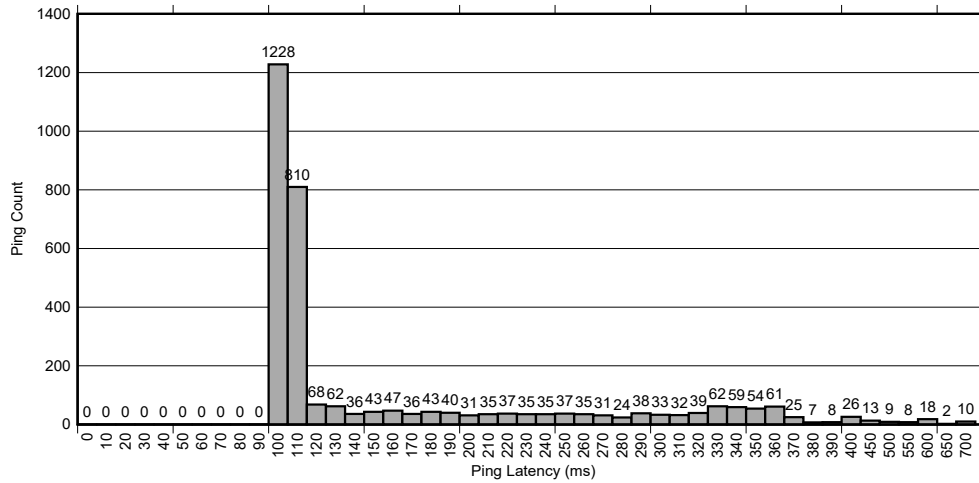


图 8-3. “最大限度地提高可扩展性”网络配置的 Ping 延迟柱状图 (1 个路由器节点、50kbps)

9 总结

TI Wi-SUN FAN 设计可为给定的网络标准和拓扑结构提供预期的网络性能。TI Wi-SUN FAN 提供三种不同的网络标准，从而针对给定的网络规模将网络控制数据包开销配置为不同级别。

网络标准由网络管理员根据所需的网络规模和应用流量标准确定。

- **网络规模**：对于大型网络（例如，1000+）、由于所需的控制协议开销高于可用的网络容量，因此无法进行最大限度地提高响应能力配置。
- **应用流量标准**：如果典型的数据流量标准预计为在某一请求或响应类型的事务中，仅有一对节点会在某一时刻进行通信，那么此类数据流量的开销需要小于任何配置下的可用数据开销。在这种情况下，只需考虑网络规模，并且德州仪器 (TI) 建议选择最激进的标准，以获得响应速度更高的网络。[延迟](#)测试结果也证实了这一点，即延迟不受网络配置的影响。但是，如果应用流量要求每个节点并行发送和接收大量数据块，这可能会占用大量的数据容量，因此建议使用不太激进的网络标准。

对于基于 DLMS 或 COSEM 的典型电子计量应用，其流量模式通常预计是每个服务器每次都由中央客户端定时读取数据。因此，对于这种网络规模而言，建议使用最激进的标准。虽然实际的网络开销取决于节点放置和拓扑结构，这会影响网络标准的确定，但以下建议适用于给定规模的典型网络。

网络标准	网络规模建议
最大限度地提高响应能力	< 300
平衡模式	300 - 500
最大限度地提高可扩展性	> 500

10 参考资料

- 德州仪器 (TI)、[TI Wi-SUN® FAN 栈 - 软件概述](#)、产品概述
- 德州仪器 (TI)、[TI Wi-SUN 栈用户指南](#)
- 德州仪器 (TI)、[SIMPLELINK-LOWPOWER-SDK 产品页面](#)
- iPerf、[用于 TCP、UDP 和 SCTP 的最终速度测试工具](#)

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司