



ON Semiconductor®

技术文章

在 2.4 GHz 共存

WLAN、蓝牙、ZigBee 和 Thread 在 2.4 GHz 频段共存

摘要

本白皮书介绍了无线技术在 2.4 GHz ISM 频段运行的共存方案。许多流行的无线技术如无线局域网(WLAN)、蓝牙、ZigBee、Thread 等使用通用的 2.4 GHz 运行。因此，它们可能会彼此干扰，降低所有相关链路的总输送量。已知解决此类共存问题的方案包括共用通道的协作和非协作方案。我们探讨 Quantenna 的 4 线分组流量仲裁器(PTA)协作方案的详细资讯，并分析其对降低由于干扰导致性能退化的影响。视乎内置的对共存技术的保护，Quantenna 的 PTA 可以减少一半甚至更多有问题的干扰。

前言

许多当前流行的无线通讯技术如 Wi-Fi®、蓝牙^[1]、ZigBee^[2]、Thread 等使用相同的免授权的 2.4 GHz 频段运行。由于通道的共用性质，这些技术在同一时频空间区域中运行时会相互干扰。视乎干扰通道强度和传输功率，这种干扰会导致相当大的性能下降。其中一些技术内置一些协议保护如载波侦听、自我调整跳频，跳频等可部分避免其他使用同一通道的技术的干扰。

图 1 描述了 WLAN 和蓝牙模组位于同一 QSR10G 系统单晶片(SoC)的典型共存场景。WLAN 接入点和蓝牙主机共同置于 QSR10G 上。它显示了 WLAN 站(STA)的两种可能情况：STA 靠近接入点时为近端情况，STA 离接入点较远时为远端情况。在近端情况下，STA 可以听到并置的蓝牙主设备的传输，在远端情况下，STA 无法听到主设备的传输，这可同时引发 WLAN RX(没有 QSR10G)和蓝牙 TX 事件。视乎通道，在附近的 WLAN STA 和蓝牙从站之间的链路可能存在或不存在。对任何一条链路的干扰都可能由于不确定的网路条件由这种隐藏节点情况引起。但是，在并置于 QSR10G 的两种技术之间引入合作可减少某些干扰事件。例如，在给定时间限制一条链路处于活动状态。这种合作可以提高共用通道的有效性和所有相关链路的总输送量。

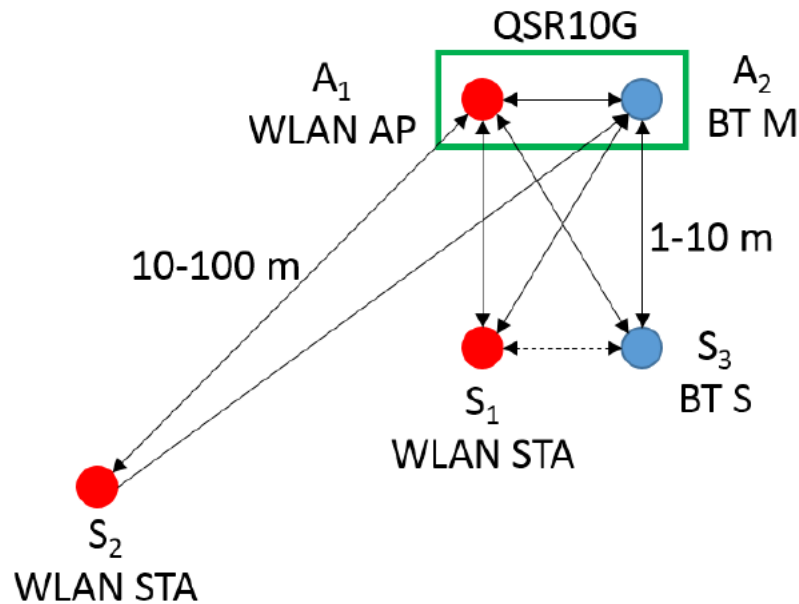


图 1. WLAN 和蓝牙用户端联接到 1 个 QSR10G 接入点(AP)的示例网络

现有的共存方案

早在这些技术的开发过程中, 就意识到了潜在的干扰问题和对共存方案的需求。IEEE 802.15.2 标准^[3](由 IEEE 802.15 共存任务组 2 开发)解决了 WLAN 和 WPAN 网络之间的共存问题。该标准描述了推荐的做法, 并提供了干扰(在 802.11b 和 802.15.1 之间)的电脑模型。该标准描述了协作方案(在发射机并置时使用), 例如:

- 交替通道接入(MAC 层方案)
这种方法将信标间隔分为两个部分, 并且两种技术都使用了 TDMA 以避免干扰。
- 分组流量仲裁(MAC 层方案)
单独的 PTA 块授权不同界面使用同一通道进行所有传输。PTA 块根据流量负载和优先顺序来协调媒介的共用。
- 确定性干扰抑制(PHY 层方案)
这种方法在 WLAN 接收器中使用可程式设计陷波滤波器来消除窄频段蓝牙干扰。

该标准还包含以下非协作方案:

- 自我调整干扰抑制(PHY 层方案)
此方法在 WLAN 接收器处使用自我调整滤波以删除窄带干扰。
- 自我调整资料包选择和调度(MAC 层方案)
这种方法自我调整地选择资料包属性(有效载荷长度、向前纠错(FEC)码和自动重发请求(ARQ))并调度低干扰区的流量。

- 自我调整跳频

这种方法积极地估计并避免了通道在高干扰的 WPAN 处跳频。

与非协作方案相比, 协作方案在正交化通道接入方面效果更好, 因此降低了潜在的干扰。但是, 协作方案需要在相应的共存技术之间紧密集成, 并且经常会涉及到硬件或软件握手信号。

除上述技术外, 跳频协作方法还可减少同时接入同一通道的机会。用这种方法, 并置的无线电避免使用公用频率。例如, 如果 WLAN 无线电正在通道 1 上运行, 则蓝牙无线电会避开通道 0-21 或 ZigBee 无线电会避开通道 11-14。

Quantenna 的 2 线共存仲裁器

Quantenna 使用基于 802.15.2 标准中推荐的 PTA 的硬件方案来实现协作共存。介面使用 2 线在并置的 WLAN 和 WPAN 元件之间握手, 以减少同时接入公共通道的机会。图 1 显示了 PTA 模组与外部(EXT)蓝牙/ZigBee/Thread 模组之间的介面信号。



图 2. Quantenna 的在 QSR10G PTA 和外部模组之间的 4 线介面

图 1 所示的不同信号的含义和运行如下:

1. REQUEST — 这是输入到 PTA 模块的输入信号, 指示来自外部模组请求正在请求接入通道。
2. GRANT — 这是输出到外部模块的输出信号, 指示外部模组是否被授予接入该通道的许可权。当外部模组发送请求信号时, 该信号有效, WLAN 既不接收也不发送帧。

当 WLAN 必须传输时, 它会检查是否已授予外部模组存取权限。如果外部模块正在接入该通道, 则 WLAN 会一直等到取消授予权限后再进行传输。在正常模式下, 当 WLAN 正在发送或接收时, 来自 EXT 模组的任何请求都会被拒绝。当 EXT 模组必须发送帧时, 它发送一个 REQUEST 并等待获得 GRANT 后再发送。当 EXT 模块接收到一个帧时, 它将发送一个 REQUEST 并继续接收该帧, 而不受 GRANT 信号影响。

除了上面提到的 2 线模式之外, 上述介面还可以以 1 线模式运行。在 1 线模式下, PTA 模块的唯一输出是 Grant 信号。在此模式下, Grant 信号用作 WLAN 繁忙的指示。当 WLAN 不使用通道时, PTA 会取消授权 Grant 信号。

TX/RX 事件的顺序(WLAN TX, WLAN RX, EXT TX 或 EXT RX)可能导致不同的工作或干扰情况。图 3 显示了一个示例, 在进行蓝牙传输时接收到 WLAN 帧。如果将 WLAN 帧发送到接入点的 STA 距离很远, 因此无法以较低功率听到蓝牙传输(如图 1 所示), 则会出现这种情况。

表 1 列出了当使用 2 线 PTA 介面减少 WLAN 和 EXT 模组之间的干扰时 TX/RX 事件的所有可能顺序及其影响。枚举忽略了当通道处于空闲状态并且只有一个介面具有 TX/RX 事件而另一个介面处于空闲状态时的情况。

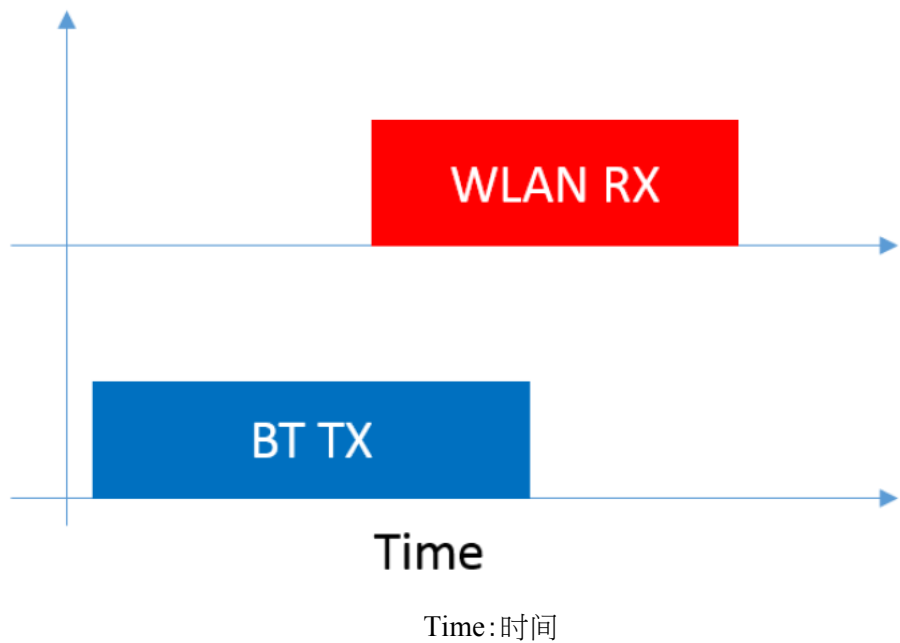


图 3. 在正在进行的 BT TX 事件中间发生 WLAN RX 事件的示例

请注意, 在隐藏节点的情况下(当 WLAN STA 和/或 EXT 从站无法听到发送器时), 一条链路上接收帧, 同时另一条链路上正在进行传输是不可避免的。

表 1

	第 1 事件	第 2 事件	行为	结果(接入点)
1	EXT TX	WLAN TX	等待直到 REQ 被取消授权	WLAN TX 延迟
2	EXT TX	WLAN RX	继续 WLAN RX。BT TX 可能会或可能不会停止, 取决于其模式	WLAN 干扰或资料包丢失
3	EXT RX	WLAN TX	等待直到 REQ 被取消授权	WLAN TX 延迟
4	EXT RX	WLAN RX	继续 WLAN RX。BT 发送 REQ, 两者继续接收。	EXT 和 WLAN 干扰或资料包丢失
5	WLAN TX	EXT TX	BT 发送一个 REQ 并等待 GNT。	EXT TX 延迟

			PTA 然后等待 WLAN TX 完成授权 GNT。BT 或延迟 TX 或完全错过视窗并不得不重复。	
6	WLAN TX	EXT RX	WLAN 不会停止。BT 发送 REQ 并继续接收。	EXT 干扰或资料包丢失
7	WLAN RX	EXT TX	BT 发送一个 REQ 并等待 GNT。PTA 等待 WLAN RX 完成授权 GNT。BT 或延迟 TX 或完全错过视窗并不得不重复。	EXT TX 延迟
8	WLAN RX	EXT RX	WLAN 不会停止。BT 发送 REQ 并继续接收。	EXT 和 WLAN 干扰或资料包丢失

注意: TX/RX 事件的顺序及其对采用 4 线方案的共存介面的影响。

如果没有 PTA 模块, 表中提到的所有情况都会对活动链路造成干扰。PTA 模组能减少干扰情况的数量, 即使它可能导致传输延迟。通常, 延迟比干扰/冲突更好, 因为冲突可能由于重传和级联错误事件而丢失发送帧所需的一个以上通道时间。如果没有 PTA, 当另一条链路正在发送或接收时, 将发生传输, 并且可能导致资料包丢失。但是, 在表中考虑的八种共存情况中, PTA 介面无法解决其中的四种。请注意, 所有这些余下问题都是在 PTA 已授权第一介面进行 TX 或 RX 的同时第二介面开始接收帧的时候。由于设备无法控制意外的接收, 这些错误情况很难解决。但是, 根据链路的强度, 这些情况并不总是导致资料包丢失。在下一节中, 我们评估此类事件发生的可能性及其对性能的影响。

Wi-Fi 抢占

即使使用请求和授权的标准 PTA 机制, 如果当前 Wi-Fi 流量很高, 外部流量也可能必须等待更长的时间间隔。在 ZigBee、蓝牙、Thread 等的许多当前使用案例中, 这些外部协定用于电池供电的感测器用户端。在这种情况下, 额外的延迟和碰撞会导致更多的重新传输, 进而影响客户的电池寿命。因此, 在存在此类高优先顺序外部流量的情况下, 立即停止正在进行的 Wi-Fi 传输并使外部流量具有优先权可能很有用。即使在正在进行的 Wi-Fi 流量期间也允许外部流量称为 PTA 抢占。

Quantenna 当前支援两种抢占模式:

无 TX 停止的抢占

此模式适用于 Wi-Fi 和外部流量在非重叠通道上的使用情况。例如, Wi-Fi 通道 1 和 ZigBee 通道 23 不重叠。在这种使用情况下, 由于通道不重叠, 因此两个无线电可以同时继续他们的通信。

TX 停止的抢占

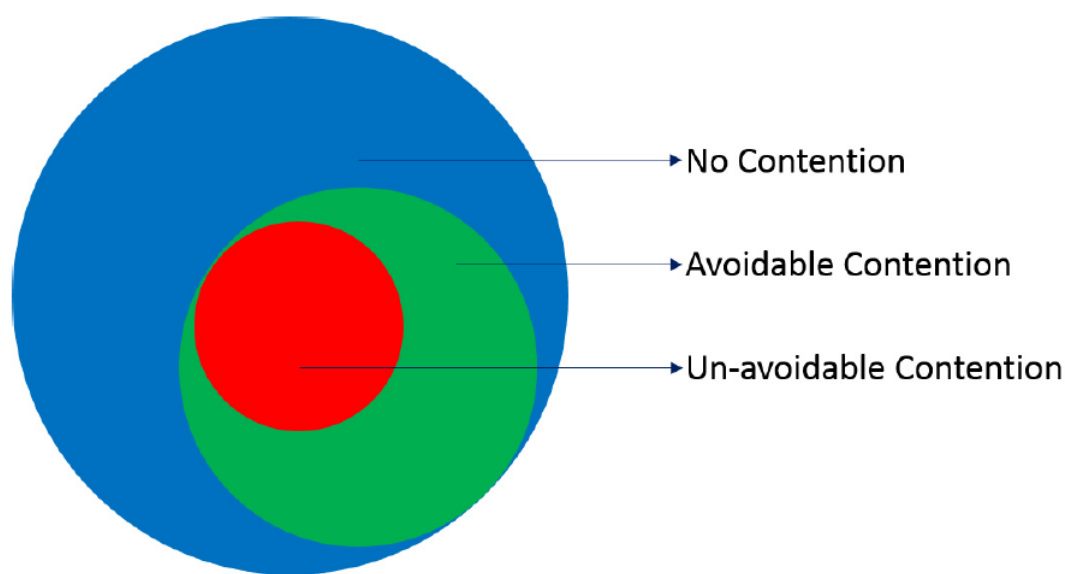
此模式适用于 Wi-Fi 和外部流量在重叠通道上的用例。例如, Wi-Fi 通道 1 和 ZigBee 通道 12 或 13 或 14 重叠。在这种使用情况下, 由于通道重叠, 因此两个无线电无法同时继续其通信。同时传输可能会导致冲突。

在这种模式下, 无论何时请求, PTA 都会授予对外部无线电的存取权限。如果有正在进行的传输, 则 PTA 立即停止传输。在 Wi-Fi 正在进行接收的情况下, PTA 不会中断它, 因为我们无法控制传输。在存在外部流量的情况下, Wi-Fi 会尽其所能恢复信号。

没有 TX 停止, 对 Wi-Fi 流量的抢占没有影响, 因为它不共用干扰的通道。但是, 对于 TCP 流量的抢占, 慢速流量如 1 ZigBee 每秒帧数可能不会对 Wi-Fi 流量产生任何影响, 但高输送量如 100 ZigBee 每秒帧数可能会导致 Wi-Fi 输送量损失高达 60%。

性能影响

在与共存设备的运行有关的所有可能场景中, 事件的某种组合会导致干扰场景。图 4 显示了这些场景之间的关系。所有可能的事件都用最外面的圆圈表示。如果设备的占空比足够低, 则大多数事件将无争用, 如外部圆圈的蓝色部分所示。在所有可能引起干扰的场景中, 使用 PTA 介面可以避免某些情况, 如表 1 所述。最里面的红色圆圈表示事件的空间, 使用 PTA 不能避免。



No Contention: 无争用
Avoidable Contention: 可避免的争用
Un-avoidable Contention: 不可避免的争用

图 4. 所有可能的共存场景的空间

可避免的和不可避免的竞争事件会导致 WLAN 或 WPAN 流量中的延迟, 重试和资料包丢失。这会导致性能损失。导致此类性能损失的确切事件取决于用于解决共存问题的特定方案。在下一个小节中, 我们分析可避免和不可避免的概率。共存场景中的 PHY 层性能的其他一些分析可以在[4]和[5]中找到。

争用事件的概览

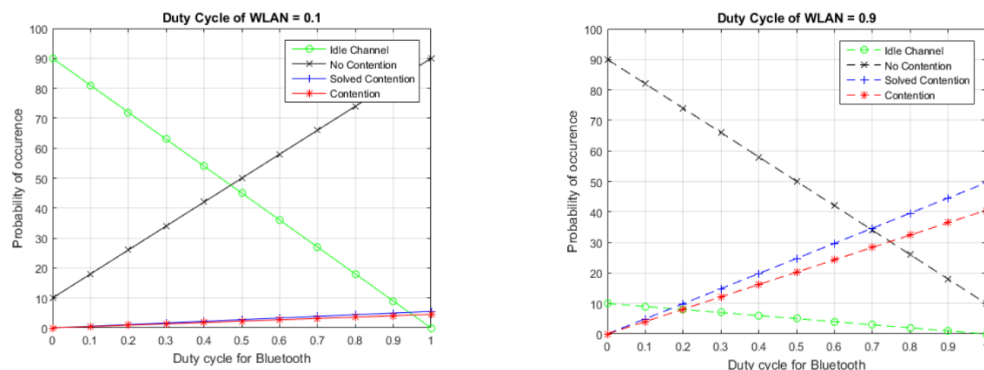
为了了解上述场景的比例(概率)及其对 WLAN 和 WPAN 占空比的依赖性, 我们将这些概率作为占空比的函数进行计算。我们考虑具有以下参数的网络。

- WLAN 流量参数
 - ◆ 传输速率=WLAN 开启时间的 60%(下行链路)
 - ◆ 接收速率=WLAN 开启时间的 40%(上行链路)
- EXT 流量参数
 - ◆ 传输和接收速率=EXT 开启时间的 50%

图 5 总结了所有场景下 WLAN 流量的两种不同占空比的概率。10%的占空比表示低 WLAN 流量, 而 90%的占空比表示高 WLAN 流量。当 WLAN 流量的占空比较低时, 争用的概率(可避免与否)较低, 并且当 WLAN 空闲时几乎所有无争用的情况都会发生。因此, 当蓝牙占空比增加时, 闲置时间所占的比例下降, 无争用的比例上升。但是, 当 WLAN 流量已经很高时, 无争用的概率随蓝牙占空比而降低。但是, 最重要的结论是 PTA 方案能够解决一半以上的问题情况。

现在, 让我们考虑以上计算中未考虑的一些变数。由于这些 WPAN 协议内置某些保护, 因此并非所有有上述不可避免的事件都在现实生活中发生。我们考虑以下四个例外。

首先, 对于蓝牙模组, 如果从站的 RX 在主站的 TX 之后到达, 并且模组为整个处理预留了时间, 则 RX 事件不会在 WLAN 事件的中间发生。因此, 我们不再有这种不可避免的干扰情况的可能性。



probability of occurrence: 发生的概率

Duty cycle for Bluetooth: 蓝牙占空比

Duty cycle of WLAN: WLAN 占空比

Idle Channel: 空闲通道

No Contention: 无争用

Solved Contention: 解决的争用

Contention: 争用

图 5. 事件概率因蓝牙占空比而异, 图为 0.1 和 0.9 的 WLAN 占空比

其次, 对于 ZigBee, 如果遵循载波监听多路访问(CSMA), 则网络将能够听到正在进行的 WLAN 空中传输, 因此 RX 事件不会在 WLAN 事件的中间发生。

第三, 即使外部模组和 WLAN 由于 RX 事件而同时使用同一通道, 由于使用的频宽和跳频序列, WLAN 也会观察到窄带干扰。

最后, 由于蓝牙的跳频机制, 即使发生不可避免的争用事件, 蓝牙流量也不会一直与 WLAN 频宽交叠。交叠的时间比例取决于 WLAN 的跳频序列和运行频带。

除了上述所有考虑之外, 由于无线电不完善引起的跨通道干扰也会影响干扰, 这不在本文档的讨论范围之内。

总结

我们描述并分析了 Quantenna 的基于 4 线的 PTA 方案, 解决共存问题以与不同无线技术共享 2.4 GHz 通道。如果外部模组具有某些内置的保护, 则 PTA 界面可以潜在地将争用情况减少一半甚至更多。争用情况(可避免或无法避免)的负面影响是, 由于共存会导致性能损失(可避免情况的延迟以及不可避免的情况的退回/损失), 我们可以将其最小化, 但不能完全消除, 尤其是在通道接近完全利用率的情况下。

参考文献

- [1] “802.15.1-2005 – IEEE Standard for Information technology — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part 15.1a: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Wireless Personal Area Networks (WPAN)”.
- [2] “802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks — Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”.
- [3] “802.15.2-2003 – IEEE Recommended Practice for Information technology — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part 15.2: Co-existence of Wireless Personal Area Networks with Other Wireless Devices Operating in Unlicensed Frequency”.
- [4] J. Lansford, A. Stephens, and R. Nevo, “Wi-Fi and Bluetooth: Enabling Co-existence”, IEEE Network, vol. 15, no. 5, pp. 20-27, 2001.
- [5] N. Golmie, N. Chevrollier and O. Rebala, “Bluetooth and WLAN co-existence: Challenges and solutions”, Wireless Communications, vol. 10, no. 6, pp. 22-29, 2003.

关于安森美半导体

安森美半导体(ON Semiconductor, 美国纳斯达克上市代号:[ON](#))致力于推动高能效电子的创新, 使客户能够减少全球的能源使用。安森美半导体领先于供应基于半导体的方案, 提供全面的高能效电源管理、模拟、传感器、逻辑、时序、互通互联、分立、系统单芯片(SoC)及定制器件阵容。公司的产品帮助工程师解决他们在[汽车、通信、计算机、消费电子、工业、医疗、航空及国防应用](#)的独特设计

挑战。公司运营敏锐、可靠、世界一流的供应链及品质项目，一套强有力的守法和道德规范计划，及在北美、欧洲和亚太地区之关键市场运营包括制造厂、销售办事处及设计中心在内的业务网络。更多信息请访问 <http://www.onsemi.cn>。

- 请关注官方微博@安森美半导体
- 请关注官方微信。请搜微信号 onsemi-china 或扫描二维码



###

安森美半导体和安森美半导体图标是 Semiconductor Components Industries, LLC 的注册商标。所有本文中出现的其它品牌和产品名称分别为其相应持有人的注册商标或商标。虽然公司在本新闻稿提及其网站，但此稿并不包含其网站中有关的信息。

媒体联系：

沈美娟
亚太区公司营销
安森美半导体
(852)2689-0156
daisy.sham@onsemi.com