

验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

摘要

本白皮书探讨了车辆制造商为何都在采用以太网联网技术，以及制造商及其供应商在验证汽车应用中所运行的以太网设备性能时面临的挑战。本白皮书还简要描述了 ICT（信息和通信技术）行业所开发的各种高速网络测试和验证技术，以及专用模拟仪器如何帮助汽车应用中以太网组件和网络的开发商实现更好的测试成果。

以太网：下一代乘用车的必备技术

即将在汽车上部署的下一波信息娱乐、安全和人体电子技术将为驾驶者、乘客，甚至道路上的其他用户提供极具吸引力的优势。汽车制造商知道这些技术将极大地刺激潜在的购车者，提供诱人的消费者友好特性、高科技便利及驾驶员辅助功能，例如：

- 自主加强特性，例如基于摄像头和雷达的公路变道辅助。
- 中控信息显示屏上的全景泊车辅助影像。
- 头枕背侧的超清显示屏。

所有这些先进的特性都有一个共同点：带宽要求和数据传输速率都要比上一代的车辆高很多。CAN 和 MOST 等较老的汽车网络技术都是为前几代而开发的，而且根本无法支持带宽需求极大的应用，例如流高清音频 / 视频或实时测距传感器输入等。



验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

车内网络流量在数量和速度方面的快速提高将为汽车制造商带来诸多挑战：

- **时延**——例如，在现代电传刹车系统中，驾驶者踩踏刹车踏板和车轮刹车机构动作器做出反应之间的间隔最大时长必须保持在极短的水平上。此外，从刹车踏板到刹车盘之间传递信号的数据联网系统必须能够确保信号发送和接收之间的间隔持久恒定。但汽车是一个复杂的联网环境，需要同时承载数百个节点之间多种类型的流量。如何才能确保刹车指令等低时延信号拥有必要的网络容量呢？
- **服务质量（QoS）**——在汽车展厅中，头枕背侧锐利、明亮的高清显示屏往往都会让人过目不忘。但在实际使用中，它们显示出的内容常常会遭遇图像撕裂或缓冲不及时的问题，这将会对品牌声誉造成怎样的影响呢？要想播放令人满意的影片，网络必须提供连续的数据流，通常要达到数 MBps 的速率，而且不能有任何中断。同样，在这种复杂和高流量网络环境中，需要满足 QoS 要求的数据必须拥有必要的优先级，而不能被当作“尽力而为”式的数据类型来处理。
- **可用性**——当刹车、转向和灯光控制等关键安全功能必须依赖网络来传输指令时，网络本身便成为一种关键安全组件。在车辆运行时，网络容量必须得到保障。在电信设备中，运营商通常要求确保 99.999% 的可用率，并且要用到冗余、热插拔网络组件。同样，为保障道路使用者的安全，也需要确保车载网络的极高可用性。
- **同步**——360° 全景影像可以将车身每侧多个摄像头的图像拼合在一起。这些来自多个来源的输入必须精确地同步在一起，只有这样才能产生天衣无缝的单幅影像。

在企业计算中，带宽和速度的问题已经被以太网解决。今天，电信行业已经制订了明确的路线图，规划了在高达 400Gbps 数据速率下运行的以太网设备实施计划。今天的汽车制造商正在实施 100Mbps 数据速率下运行的网络，未来的路线图规划了高达 1Gbps 和后续的多 Gbps 速率，因此以太网可以为数据流量的未来增长预留充足的扩展空间。

以太网对汽车行业的吸引力还在于它是经过实践考验的，并且得益于丰富的行业标准和多样化的用例组合。同时，以太网得到了众多组件和系统制造商的支持，并拥有固件和测试解决方案供应商的全面的生态体系作为后盾。

当在汽车中实施时，以太网还可实现更为简洁的轻量化布线。由于流量通过复用的交换式连接来实现路由，与 CAN 支持的更简单的点对点拓扑结构或 MOST 支持的环形拓扑结构相比，在以太网中连接某任意数量节点所需的网线长度要短得多（见图 1）。

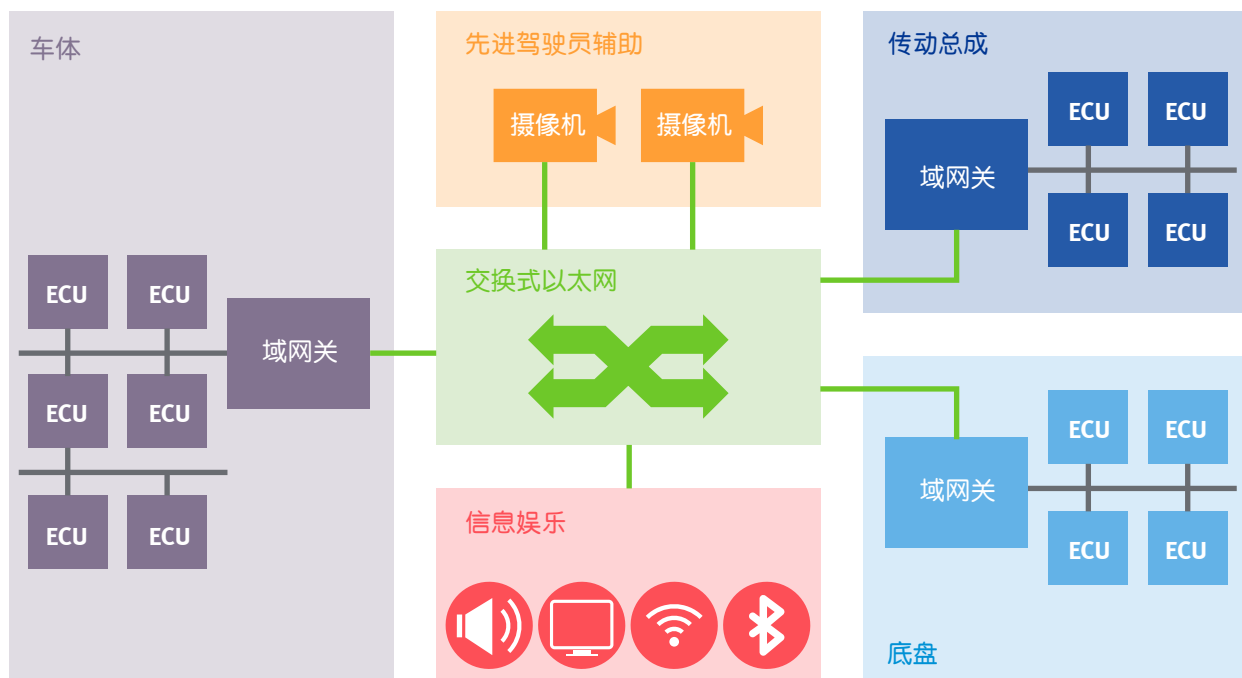


图 1：以太网协议实现的基于交换的架构可以提供比 CAN 或 MOST 支持更简洁的布线方案

但与企业计算应用不同的是，汽车中的许多应用都对时间极为敏感而且与安全息息相关：时延和同步必须保持在严格的限度之内。在原生状态下，以太网并不能满足这一要求。但通过采用以太网协议的 TSN（时间敏感型网络）扩充，汽车系统设计师便能满足时延、同步、可用性和服务质量方面的所有要求。

验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

TSN 协议扩充如何保障关键任务数据的正确传输

以太网协议的 TSN 增强最初的开发用途是专业音频 / 视频 (A/V) 设备，而且最早被称为 AVB（音频视频桥接）标准集。在工业设备制造商开始采用该技术后，“时间敏感型网络”的名字才得以使用。

TSN 扩充的主要目的是使以太网的运行具备决定性的特质 — 也就是说，确保高优先级的数据包一定能够在已知最大发送至接收间隔内到达其目的地。

时间敏感型联网由时间敏感型联网工作组正在开发的一系列标准组成，而该工作组又属于 IEEE 802.1 标准组的一部分。这一系列的标准结合在一起后可以为以太网提供决定性运行框架的多种组成部分。其中包括：

- 服务质量 (QoS) 保证
- 网络时间同步服务
- 传输时间敏感流量的一项相关协议

TSN 系统的运行取决于多种重要概念的应用，而这些概念并非企业网络中通常部署的以太网标准中与生俱来的部分。

“网络时间”，由严格的时延规格确定，可提供全网范围内的时钟，并以此对数据包的交付过程加以同步。

“优先级”可用于区分时间敏感型数据流和传统以太网“尽力而为”方式所传输的普通流量。

“保留”是分配特定数量有保证带宽的一种方式，这些带宽会为高优先级流量保留下来。

TSN 标准还规定了流量塑型和转发规则，并且为发现、枚举和控制提供了标准方法。本文在前面已经指出，新型汽车网络的实施必须应对时延、服务质量 (QoS)、可用性和同步方面的挑战。TSN 标准可以让所有这些问题得到解决。

例如，对于支持碰撞规避功能的 ADAS 传感器而言，系统的响应时间应以微秒来测量。TSN 中的优先级和保留概念正好能够为此类关键安全信号的低时延和高可用性提供支持。

同样，无缝的 360° 全景泊车辅助显示也需要对来自多个摄像头和距离传感器的视频信号和数据进行精确的实时同步。TSN 的网络时间和优先级概念能够为此提供有效的支持。

在实施 TSN 技术后，汽车以太网可以使用符合标准的组件和系统，充分利用发达的供应商生态体系并从中受益。只要是根据以太网 TSN 标准制造产品，都可以在汽车网络中使用并实现互用互换。

通过正确的实施，以太网的 TSN 扩充完全可以实现关键时间和安全汽车应用所承诺的性能和可靠性。

汽车制造商面临的问题是，怎样才能最好地验证网络组件或整个联网系统是否符合这一标准，以及如何能在所有规定的运行条件下达到所需的性能呢？

验证测试：如何确保与以太网 TSN 标准的一致性

尽管 TSN 标准为汽车网络提供了关键时间和安全信号的技术框架，但实际的实施仍然要靠汽车制造商及其系统和组件供应商来执行。

与每一种汽车组件一样，此类网络必须被归入汽车制造商质量保障、安全保障和产品测试规范的严格范畴。但以太网 TSN 设备的测试应当具备怎样的范围和目的呢？汽车制造商的测试计划应侧重发现哪些方面的问题呢？

以太网 TSN 系列协议已经作为开放标准正式公布。这意味着在测试中，必须对组件或设备与这些标准的一致性进行验证。一致性重要意义原因体现在两个方面：

- 首先，它可以确保被测设备（DUT）满足该标准在时延、可用性和同步方面的最低规格。
- 其次，它可以为被测组件或模块的用户提供保证，确保这些组件或模块能够与符合标准的其它任意设备实现互用。

目前，在 Avnu 联盟（avnu.org）的主导下，一致性测试已经实现了标准化。Avnu 联盟是一个行业联合会，其宗旨是促进开放标准的开发和时间敏感型联网设备的认证。Avnu 联盟公布的这些一致性测试例已经得到了行业的认可，并已成为验证以太网 TSN 标准一致性的基础。

为保证一致性测试计划的结果得到汽车行业的认可，设备制造商需要使用得到 TSN 一致性测试认证的测试套装。

思博伦是汽车行业中领先的以太网 TSN 设备一致性测试设备供应商。思博伦的 TTsuite-AE-AVB 以 AVnu 联盟的测试规格为基础，并提供以太网 TSN 一致性测试的完整套装。其涵盖的内容包括：

- 主标准 – IEEE 802.1BA：音频 – 视频桥接系统
- IEEE 802.1AS：时间敏感型应用的计时和同步（gPTP）
- IEEE 802.1Qat：流保留协议（SRP）
- IEEE 802.1Qav：时间敏感流的转发和队列（FQTSS）
- IEEE 1722/1733：第 2/3 层 AVB 传输协议

该测试套装运行在思博伦的 Spirent TestCenter C50 测试系统上，该系统还提供定制测试场景的能力，可将测试的范围扩展到 Avnu 联盟规定的条件以外的范围。它支持负面测试，使用户可以分析网络组成部分发生故障或运行超出额定限度时被测设备的行为。此外，它可以生成混合后的 TSN 和非 TSN 流量，并提供精度和准确度极高的计时测量。

验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

性能测试：设备或网络的行为表现是否符合预期？

仅凭以太网 TSN 标准的规格一致性本身，并不足以确保网络的所有潜在运行条件下的性能。

尽管以太网 TSN 标准所提供的资源可以实现时延低且可用性高的网络性能，但真实世界中的运行压力可能会损害组件、系统或网络的性能。

在汽车行业，验证组件或系统性能的常用方法之一就是驾驶测试，将被测设备置于实际的“在路上”条件之下。然而，在网络性能测试中，驾驶测试却面临着一系列严重的局限性：

- 测试人员无法精确地控制被测设备所处的测试条件。在驾驶测试中，被测设备不一定会面临极端或恶劣的运行条件。
- 测试条件无法重复或复制。
- 无法隔离或控制测试参数。如观察到了被测设备性能中出现的损伤，测试人员根本不可能明确地查出导致问题的单个原因。

多年来，企业计算和电信行业网络设备的制造商一直在使用网络模拟的技术来测试网络设备和系统的性能。在模拟环境中进行的测试可避免上述驾驶测试带来的所有不足：

- 利用模拟器，工程师可以精确地规定测试条件，例如找出被测设备在受到超出额定运行极限时的实际表现。
- 模拟器可以准确地重现任何损伤被发现时的条件，使工程师能够分析故障的原因，确定故障是随机的，还是由某些条件造成的。可以通过精确和递增的方式修改这些条件，使工程师能够测量触发缺陷的具体运行点。
- 每项测试参数都可以得到精确的控制，使工程师能够在复杂的网络环境中隔离出任何已观察到的行为背后的原因。

- 在模拟环境中，网络行为的每一个方面，包括每个数据包发送和接收的时机，都可以在每个节点上精确地测量出来。在原型车辆网络中，各节点都不具备这种详细且精确的分析和报告能力。

通过执行性能测试，汽车制造商可以为很多问题找出答案，例如：

- 网络能否处理被测应用所预测出的峰值流量负载？
- 在各种运行场景中，高优先级流量是否能在规定的时延和同步范围内到达其目的地？
- 如果 20% 的网络带宽被保留给高优先级流量，那么当“尽力而为”式的流量达到通常流量的两倍之多时，又会发生怎样的情况？

事实上，使用网络模拟的优势在于，它让测试工程师可以就任何类型的“可能”场景提出建议，并精确地测量其中被测设备行为的每个方面。这种网络模拟能力还可实现负面测试，确定网络超出规定的运行参数时的具体情况。例如，网络模拟器同步音频 / 视频数据流在临时缺少网络的主时钟时会如何表现。

在思博伦 16 端口 BroadR-Reach TestCenter 等网络模拟器中可以实施的测试配置很多，其中包括：

- 每个端口上的多送话方或监听方仿真（见图 2）
- 混合式 TSN 和非 TSN 流量
- 双臂式测试设置，例如，在测试交换机或桥接时，其中的模拟器充当发送方和监听方。
- 单臂形式测试设置，例如在以太网收发机等测试端点时，其中的模拟器可以充当发送方或监听方。

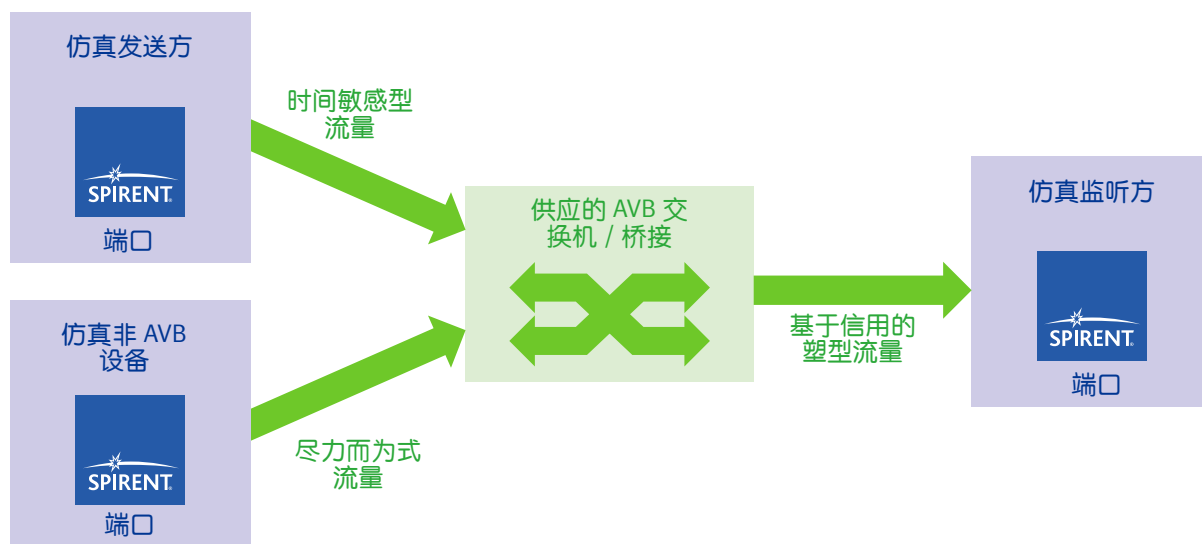


图 2：多端口模拟器可以仿真多种网络配置

仿真 TSN 和非 TSN 端点的能力使 Spirent TestCenter 可以在被测设备或系统周围创建出真实的网络环境。

验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

验证网络行为的测试例示例

由于网络模拟器的配置非常灵活，它可以用于实施范围极其广泛的众多测试例。以太网 TSN 设备制造商所用的测试例包括如下类型。

唇音同步多媒体回放测试

以太网 TSN 网络可能被用于提供多媒体内容，例如汽车 DVD 播放器上播放的影片，或者从多个摄像头合成的全景影像。

多媒体内容需要以同步方式交付到多个显示器上、扬声器和耳机端口，或者是单个显示器上（见图 3）。模拟器可以帮助测试人员对网络的带宽保留、网络计时与同步进行验证，并可精确地测量单个输出设备（例如显示器或扬声器）之间的计时变化。

用例——唇音同步多媒体回放

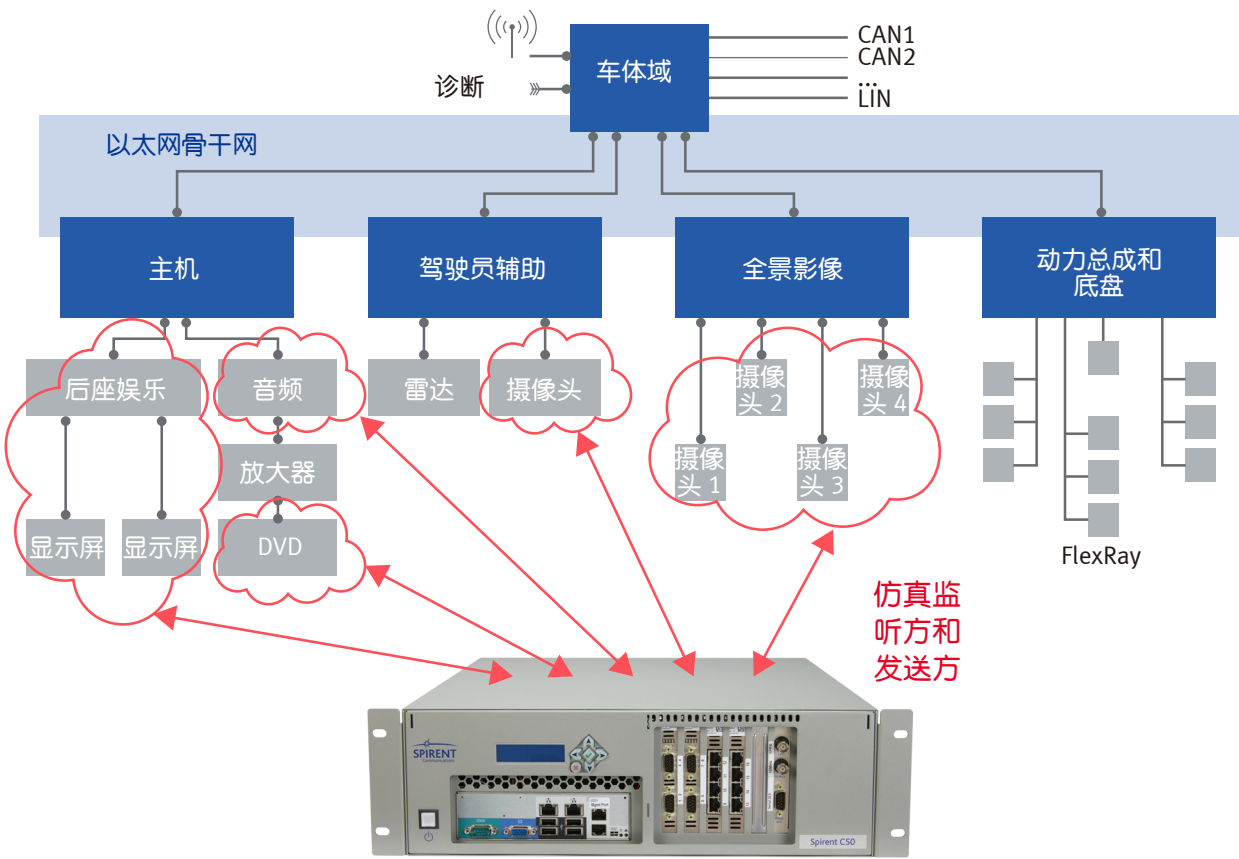


图 3：网络仿真器仿真出流音频 / 视频内容到多个端点的传输过程

仿真 ADAS 中的监听方和发送方

汽车中的 ADAS 设备可以提高驾驶员、乘客和其他道路使用者的安全性，为驾驶员和车辆提供车辆环境的增强信息，并且采取碰撞规避时紧急刹车等行动。在碰撞规避等安全应用中，来自 ADAS 传感器的信号和发送至刹车装置的信号必须在严重界定的时延范围内运行。网络模拟使测试工程师能够验证时延边界是否被超越。模拟器提供精确的发送和接收时间测量数据，并可实现对恶劣网络条件的模拟，例如数据过载，或存在多个并发的发送方等（见图 4）。

用例 —— 先进驾驶员辅助系统

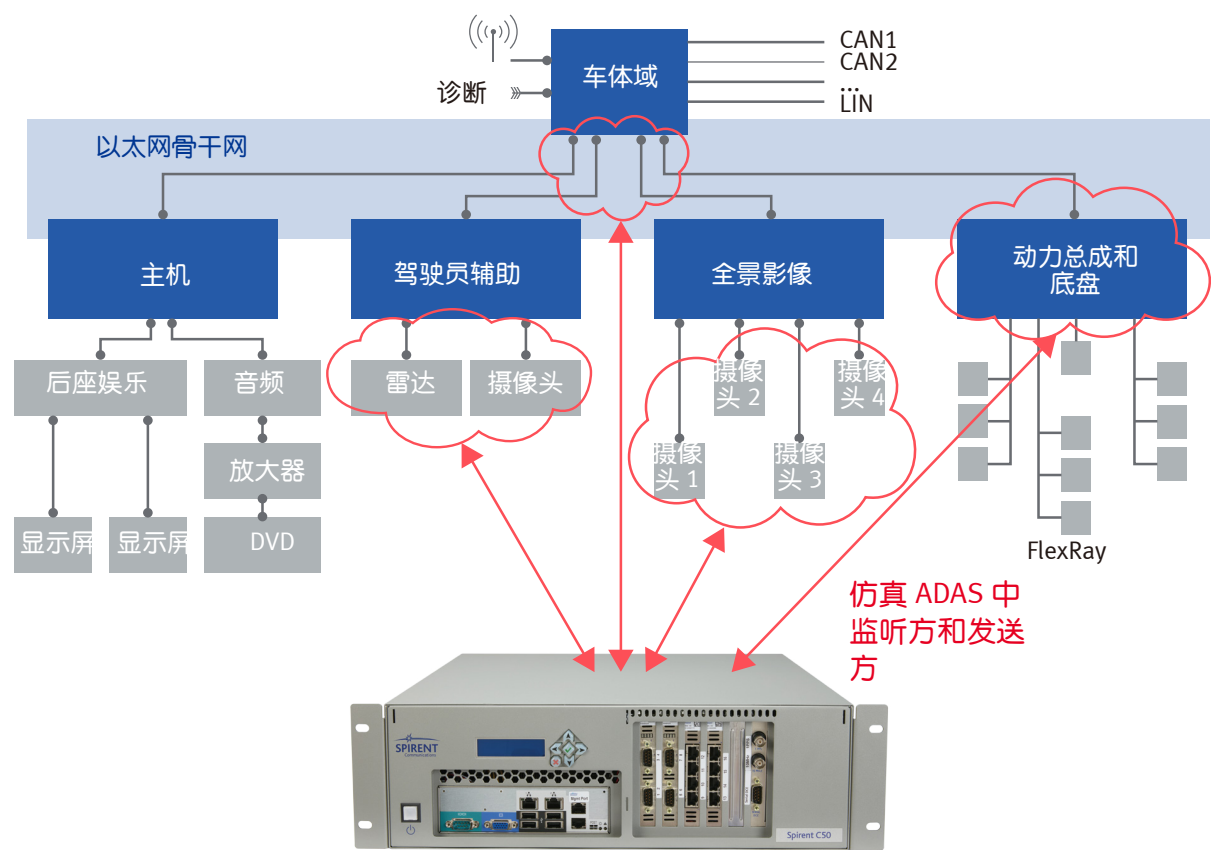


图 4：模拟器测试对事关安全且对时间非常敏感的 ADAS 传感器信号执行发送时延测试

验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

测试 C2X 通信（联网汽车）

汽车已日益成为一个运行中的 Internet 端点。例如，增强导航系统的运行将在未来检索实时道路交通信息，并通过无线方式发送到 Internet 上，最终还会叠加到汽车的导航应用中。

通过使用以太网作为所有汽车通信的骨干网，汽车制造商将会受益良多。具备混合式 TSN 和非 TSN 能力的以太网肯定能够在最恰当的方式处理高优先级和尽力而为式的数据流量。

利用网络模拟器，测试工程师可以发现网络的各种行为，例如地图应用与音频 / 视频播放应用竞争带宽时的行为，因为此时前者希望下载实时的交通信息，而后者需要以无缝方式交付流媒体影片内容，满足最低服务质量的参数要求（见图 5）。

用例 —— 联网汽车应用遥测 / Car2X

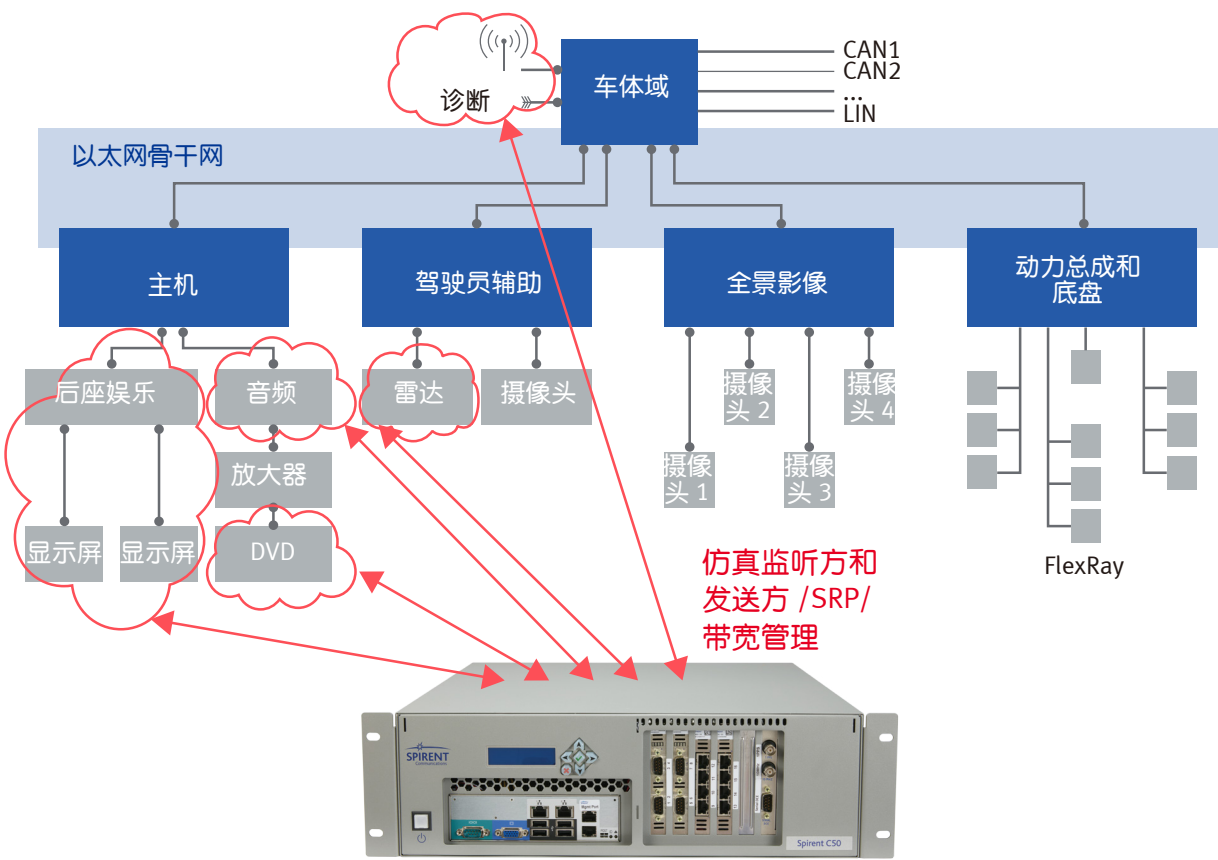


图 5：在支持带最低服务质量要求的高优先级服务时，以太网实施必须正确地处置带宽竞争的问题。

仿真联网组件和吞吐量测试

以太网物理层的完整性对于其性能至关重要。网络模拟可以帮助设备和系统制造商测量连接的吞吐量和应用中的线束，并且验证连接的正确性（见图 6）。

用例 —— 以太网连接诊断

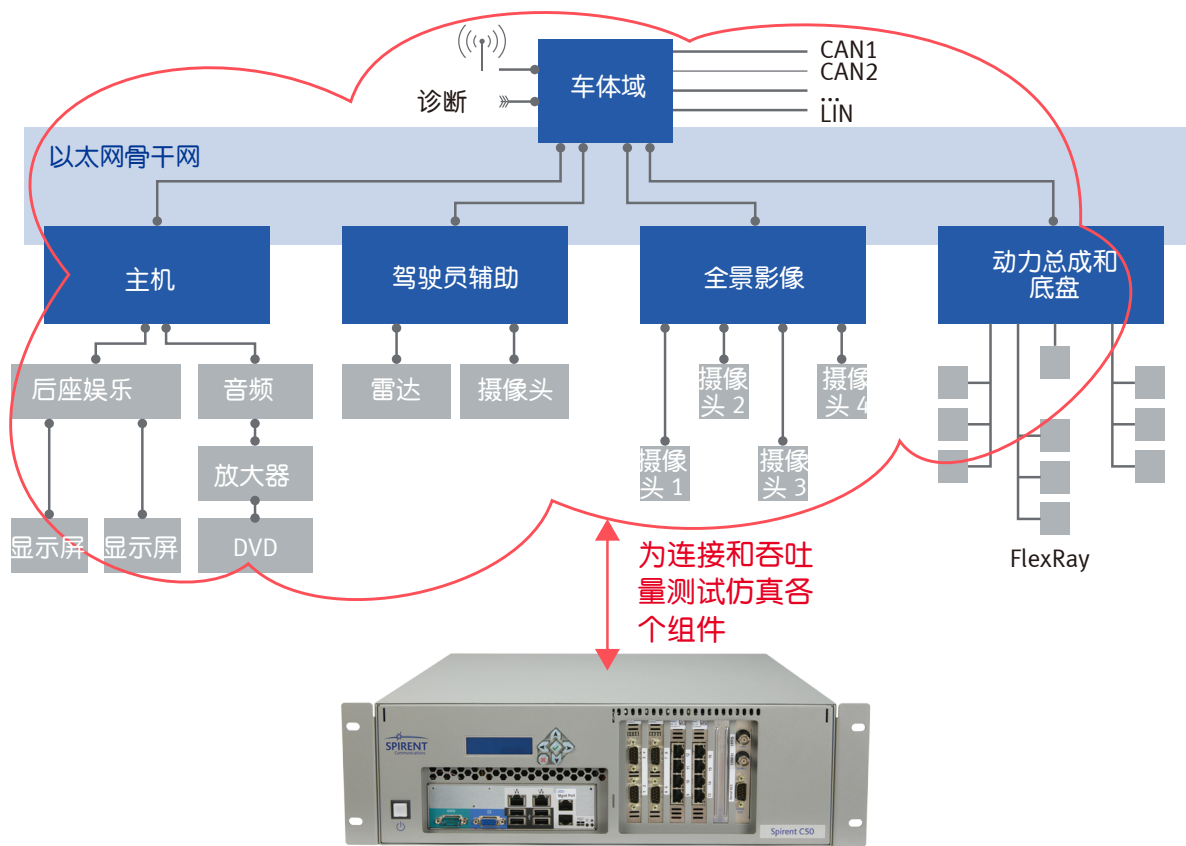


图 6：布线 and 交换机等网络基础设施需要在多种运行条件下接受验证

验证车载关键任务以太网性能时面临的挑战：

时间敏感型网络（TSN）模拟测试的优势

关于思博伦通信公司

思博伦提供面向高技术设备制造商和服务商的各种软件解决方案，能够简化和加快设备及系统的测试进程。开发商和测试人员能够创建和共享各种自动化测试，控制和分析来自多台设备、流量生成器和应用的结果，同时还可利用通过 / 未通过标准对每项测试自动归档。利用思博伦的解决方案，企业不仅能够进入自动化的快车道，还可加快质量保障周期，缩短入市时间，并且提供已发布产品的质量。迄今为止，通信、航空航天和国防、消费电子、汽车、工业和医疗设备等多个产业都已经从思博伦的产品中受益匪浅。

思博伦通信

北京代表处
地址：北京市东长安街1号东方广场
东方经贸城W1座8层804-805A室
邮编：100738
电话：(86 10)8518 2539
传真：(86 10)8518 2540

上海代表处
地址：上海市淮海中路283号
香港广场3402室
邮编：200021
电话：(86 21)6390 7233 / 6070
传真：(86 21)6390 7096

广州代表处
地址：广州市环市东路403号
广州国际电子大厦2002室
邮编：510095
电话：(86 20)8732 4026 / 4308
传真：(86 20)8732 4120

思博伦通信科技（北京）有限公司
地址：北京市海淀区学院路35号
世宁大厦13层
邮编：100191
电话：(86 10)8233 0055
传真：(86 10)8233 0022

思博伦通信（亚洲）有限公司
地址：香港北角英皇道625号
16楼1603-05室
电话：(852)2511-3822
传真：(852)2511-3880

技术支持热线：400-810-9529
中文网站：www.spirent.cn
全球网站：www.spirent.com
技术支持网站：support.spirent.com
全球服务网站：www.spirent.com/CS
思博伦网络测试学院：www.spirentcampus.cn

如何从网络模拟中获得最大的利益

面向汽车以太网、网络设备及组件的开发商和制造商，本白皮书描述了他们在测试和验证战略中实施一致性测试和网络模拟所带来的优势。

作为驾驶测试等测试方法的补充，网络模拟可以帮助测试人员大幅加快产品开发的进程。此外，通过提供实验室中所有相关测试例的全面覆盖能力，它还可以帮助制造商在额定运行条件的整个范围内对其产品的性能进行验证。结合全面的一致性测试，这一战略能够为制造商的安全和质量保障进程提供有力的支持，实现对性能损伤的精确测量和故障模式的全面分析。

最重要的是，利用网络模拟获得的测试结果，汽车网络设备和其它设备的制造商可以避免重大且代价高昂的风险。例如，在极端压力下，关键安全网络系统可能会在规定的时延边界内停止运行，在面临威胁生命的潜在状况时拖慢车辆响应速度。

网络模拟器可以帮助测试人员迅速、轻松地模拟所有潜在的真实条件，无论这些条件有多么极端，从而对网络性能的极限加以验证。

思博伦的汽车网络测试仪产品组合包含众多的生产力和用户界面特性，使测试工程师能够轻松地设计和配置适当的测试常规，同时也能提供极为精确和准确的性能参数测量数据，例如网络计时、包丢失和容量使用率等。

该产品组合中包括：

- **思博伦 Automotive C1**：一种屡获大奖的第 2 至 7 层测试工具，支持 10/100 BroadRReach 线速率和千兆以太网测试端口。
- **思博伦 Automotive C50**：这种完整的第 2 至 7 层测试工具采用 3U 尺寸规格，能够提供真实性、扩展能力和性能的完美组合。
- **TTworkbench AVB 一致性测试套装**：全面的测试常规集，适用于以太网 TSN 一致性测试。
- **Spirent TestCenter AVB 性能协议仿真包**：这是一种完整的 AVB/TSN 协议实施，可通过图形用户界面和向导进行配置，并且为性能和扩展能力测试提供专门针对 AVB 的统计数据 and 测量结果。

如欲了解所有思博伦汽车以太网解决方案的更多信息，敬请访问 www.spirent.com/Automotive。

© 2017 年思博伦通信公司版权所有。

本文档中提及的所有公司名称和 / 或品牌名称和 / 或产品名称，尤其是“思博伦”及其标志，均为思博伦公司及其下属机构根据相关国家的法律获得的注册商标或商标，或正在申报注册的商标。所有其它注册商标或商标均为其各自所有者的财产。

本文档中所含信息可能随时变化，恕不另行通知，且思博伦对其中的内容不做任何承诺。思博伦相信本文档中的信息是准确和可靠的，但如果文档中出现任何错误或不准确之处，思博伦将不承担任何责任或义务。

Rev. A 08/17

