

# 应对复杂医疗系统 信号完整性测试的挑战

确保功效、安全性和快速上市时间

# 高速数字技术助力复杂医疗系统快速发展

复杂医疗系统的数量迅猛增长，功能不断增强，使得以前难以想象的应用成为可能。医学成像系统在骨科、产科、妇科、肾脏病学、神经学、心脏病学、肺病学等领域实现了对健康状况的早期检测。外科手术机器人、医院设施机器人和远程医疗系统正在帮助医生检测和诊断医疗状况，并以可延长数百万患者生命的方式加强护理。正如我们将看到的，所有这些功能都是由高速数字信号实现的，这意味着这些系统中的信号完整性比以往任何时候都更加重要。

## 软件赋能医疗系统新应用

这些复杂医疗系统的大部分价值来自软件功能所带来的智能。这种软件能够处理和去除图像噪声，进行边缘计算，生成 3D 图像，还能够训练和使用对图像进行分割和分类的神经网络。

## 高速软件需要更多的高速数字硬件

当然，软件使用的增长使这些复杂的医疗系统能够在越来越具有挑战性的应用中得以大展身手；在这些应用中，可靠性、速度和低延迟对客户安全至关重要。这意味着设备的数字硬件必须增加，需要更快的数据检测、采集和信号处理速度，更多更快的数字处理器和图像阴影处理器，更快的存储器，更快的时钟速度，更高的帧速率，更快的互连，以及先进的数字逻辑技术，包括 PAM4、PAM8、PAM16 和非归零 (NRZ) 逻辑。此外，网络安全威胁形势日益严峻，对患者信息隐私的监管要求也越来越严格，这些因素推动了数字硬件在数据混淆、加密和有效性检查等方面的使用。

## 更多的高速数字硬件带来测试的挑战

高速数字硬件的使用量剧增，这带来了复杂的测试挑战，原因如下：

- 更快的时钟速度和数据速率意味着眼图对信号噪声和抖动的容忍度更低。
- 数据量的增加意味着即使是很小的位错误率也会导致更多的错误。
- 印刷电路板上元器件密度的增加意味着电路板上用于迹线的空间更少。这就导致了电路板上有更多层。
- 元器件密度的增加还要求迹线更窄，这比宽迹线更有可能成为意外的开口。迹线之间的空间越小，迹线就越容易产生串扰，这是由于在迹线上产生感应电压的磁场或导致寄生电容的电场造成的。
- 多层板中更多的导通孔需要更复杂的制造工艺（如背钻技术），以提高信号完整性。
- 更快的时钟速度和更严格的电路板制造公差意味着发生反射等信号完整性问题的可能性更大。
- 先进的数字逻辑协议（如 PAM4、PAM8、PAM16 和 NRZ）对信号质量变化的容忍度较低，这使解决上述问题变得尤为重要。

## 电路模拟仿真不再是可有可无

由于以上列出的所有原因，在将设计交付制造之前，通过模拟电路板操作来降低医疗系统的风险至关重要。虽然您可能无法从模拟中找到所有问题，但发现尽可能多的问题将会：

- 提高电路板的实际性能
- 减少所需硬件原型版本的数量，节省时间和金钱
- 提高成功打开原型的速度
- 减少需要执行、测试和记录的计划外电路板修改的数量
- 减少固件和软件测试过程中看似缺陷的错误信号

## 利用 PathWave 高级设计系统 (ADS) SIPro 发现信号完整性问题

Keysight PathWave ADS 的 PathWave SIPro 软件提供复杂高速 PCB 的信号完整性分析。通过该软件，您可以使用 PowerAware 模拟引擎同时表征信号和功耗网络的损耗和耦合。您还可以提取并无缝传输精确的电磁 (EM) 模型，以便在 ADS 瞬态和通道模拟器中使用。在网络驱动的界面上，您只需不到 20 次点击即可从布局到达结果，速度和准确度都很高。SIPro 软件包括 RapidScan Z0，它可以快速检查迹线阻抗，从而在提交进行 EM 提取之前节省时间。这可以降低患者数据或图像出错的风险。

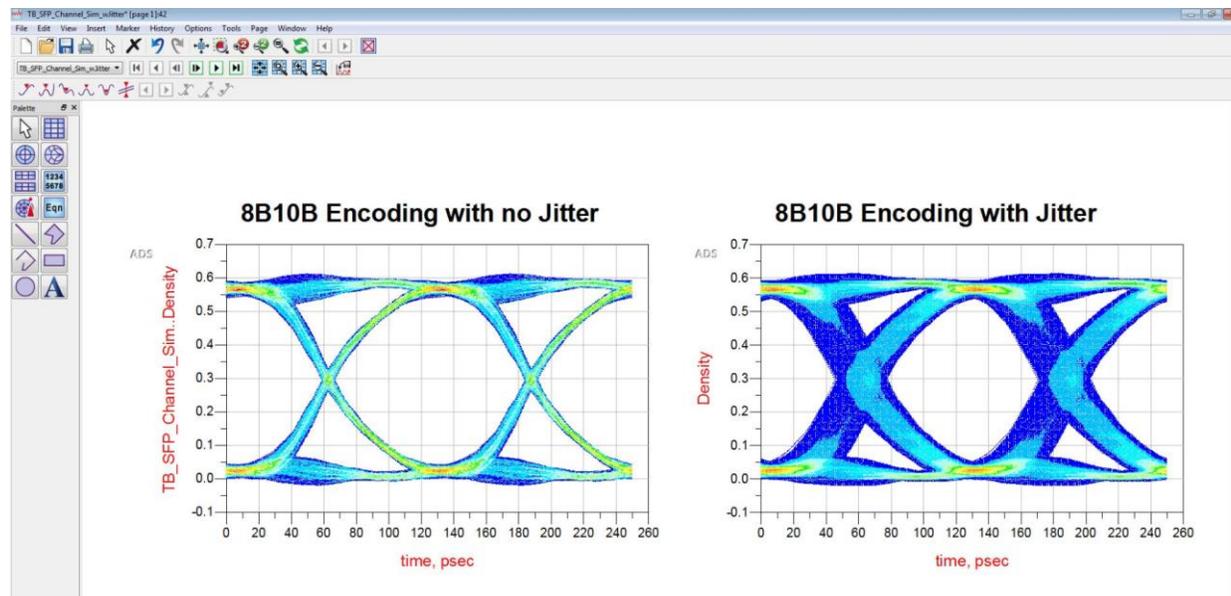


图 1. Keysight PathWave SIPro 软件分析抖动对眼图的影响

## 提高信号完整性要注意的问题

在设计阶段可以通过若干措施来提高信号完整性。例如，可以调整通孔周围铜环的大小。这起到了平衡作用，因为随着通道速度的增加，通常需要较小的环。另一方面，如果不使用激光钻孔，则需要留出一点余量来考虑机械钻头的漂移。同样，您可以增加焊盘尺寸，使表面安装技术 (SMT) 贴装设备的精度可以正常变化。最后，您应尽量让通孔远离导通孔，让阻焊膜发挥作用，防止焊料进入导通孔。

使用适合您应用的连接器。当系统的数据通道以更快的速度运行或使用更高要求的数字信号协议时，在某种速度下工作良好的连接器可能无法再满足要求。考虑您是否需要要求裸板供应商在制造过程中实施背钻技术以去除通孔残端。还要考虑是否需要实现差分迹线以提高抗扰度。

## 为什么 PCBA 信号完整性测试很重要

即使使用了信号制造模拟软件，并在布置和制造印刷电路板组件 (PCBA) 时非常小心，仍必须在制造完成后使用示波器测量电路板的信号完整性性能。原因如下：

- 即使元器件在规格范围内，元器件内也始终存在差异。没有信号完整性软件可以解释所有差异。
- 元器件通常具有一些未指定的固有寄生模拟特性（阻抗、电容、电感）。
- SMT 元器件贴装过程是可变的，元器件不可能总是在焊盘中心。
- 焊料模板工艺并不总是产生完美的焊料“砖块”，而且在清理之间使用模板时，焊料沉积本身往往会变小。
- 随着焊料在环境温度下放置的时间以及暴露在氧化和蒸发环境中时间的延长，其化学成分和特性会发生轻微的变化。这会影响焊点将铜焊盘连接到 SMT 元器件的方式。
- 回流炉中也会发生正常变化，这会影响焊料回流的方式。
- 即使是电气连接的接头也可能焊接不好。例如，您可能有一个鸥翼式部件，该部件缺少一个跟焊角、一个带夹板的无源 SMT 电阻器或一个枕式球栅阵列 (BGA) 接头。

由于这些原因和许多其他原因，在电路板制造后测量信号完整性至关重要。

## 利用 Infiniium 系列示波器发现信号完整性问题

Keysight Infiniium MXR 系列示波器可以同时测量多达八个通道，以快速发现制造的 PCBA 中的信号完整性问题。为了帮助您快速调试电路板，MXR 系列具有八合仪器合一的功能。除了用作示波器外，它还可以执行逻辑分析、实时频谱分析 (RTSA)、串行协议分析、波形生成、频率响应和相位噪声测试。它还可以用作数字电压表，并具有带 64 位积算器的三重计数器。



图 2. Keysight MXR 系列示波器

### 检测和诊断串扰

由于医疗系统中对提高数据通信速度的需求导致了更高的数据速率和间隔紧密的并行数据通道，因此被称为串扰的电磁耦合也增加了。此外，电源会以噪声和抖动的形式对其驱动的数据通道产生干扰，这些通道容易受到数据相关噪声的影响，例如同步开关噪声 (SSN)，这会导致地弹。

为了解决串扰的检测和诊断问题，Keysight Infiniium 系列示波器可以运行是德科技强大且多功能的 D9020ASIA 高级信号完整性软件。该应用程序不仅可以检测并量化串扰的存在，而且还可以确定哪些干扰源负有主要责任。它甚至可以消除被干扰对象的串扰，让您直接在示波器显示器上并排直观地比较原始波形和干净波形，或者比较其他示波器分析工具（如实时眼图或抖动分析）的结果。这样您就可以通过减少各种串扰源来量化预期的改进程度。



图 3. Keysight D9020ASIA 高级信号完整性软件

## 检测和诊断抖动、垂直噪声和相位噪声

为了降低高速数字医疗设备的风险，您需要了解导致抖动的原因，包括随机抖动 (RJ)、确定性抖动 (DJ) 和数据相关抖动 (DDJ)。抖动是在时域观察到的一种效应，它与在频率域观察到的相位噪声有关。相位噪声是信号生成设备最重要的性能指标之一，它可能是高速数字医疗系统中的限制因素。抖动和相位噪声都很重要，因为它们会在水平方向上闭合眼图。除了抖动和相位噪声外，还必须测量垂直噪声，这往往会在垂直方向上闭合眼图。

Keysight D9010JITA 抖动、垂直和相位噪声分析软件可帮助您使用 Keysight Infiniium 示波器进行抖动、垂直及相位噪声分析。该软件可以将抖动与实时信号关联起来，以帮助您轻松跟踪抖动分量的来源。该软件还包括合规性视图和测量设置向导，以简化和自动化 RJ/DJ 分离，以便根据行业标准进行测试。



图 4. Keysight D9010JITA 抖动、垂直和相位噪声分析软件

## 高频信号完整性测试的模块化解决方案

许多复杂的医疗系统，特别是成像系统，都依赖于光通信。虽然抖动、相位噪声和垂直噪声的概念是相似的，但这些光学信号工作的频率往往比电气信号的频率高得多。为了测试这些频率，并让客户可以灵活地配置成本效益高的测试解决方案，是德科技将其数字通信分析仪 (DCA) 技术应用到一系列示波器中。例如，DCA-M 采样示波器可以测量范围广泛的数据速率（从 1 Gb/s 到 64 GBaud）。



图 5. Keysight DCA-M 采样示波器

高速数字医疗系统将不断发展。将来面临的测试挑战和需求可能比今天面临的会更多。此外，您希望同时测试的通道数量还可能会增加。因此，您应该考虑 DCA 系列的另一个成员：**Keysight DCA-X** 系列采样示波器。它能够对 50 Mb/s 到 224 Gb/s 范围内的高速数字设计进行精确测量。您可以使用模块配置 DCA-X 主机，这些模块可执行精确的光学、电气和时域反射/传输 (TDR/TDT) 测量，其带宽、滤波和灵敏度可满足多达 16 个通道的测量需求。



图 6. Keysight DCA-X 采样示波器

## DCA 测量软件的强大功能

DCA 系列的高精度测量对于降低患者风险和确保高速数字系统的性能至关重要。Keysight FlexDCA 采样示波器软件不仅仅是控制 DCA 测量硬件的易用接口，也是模拟（如 Keysight ADS 和 SystemVue 产品）和远程访问受支持的 DCA 主机的可视化输出。此外，它还包含强大的工具，可以提高生产力，并能够深入探查被测信号或设备问题的根本原因。

它非常适合以下应用并能够继续发展：

- 电气发射器（ASIC、FPGA、PHY）的研发验证
- 光学发射器和收发器的研究、开发和制造
- 电气元件和通道的反射和传输特性分析
- 模拟和数字信号的通用分析



图 7. Keysight FlexDCA 采样示波器软件的典型用例

为了更深入地了解信号完整性，FlexDCA 软件具有可选的 N1010300A 信号完整性程序包，该程序包在基本 TDR/TDT 测量的基础上添加了强大的工具（如自动治具移除），以测量阻抗、传输特性和计算 S 参数。

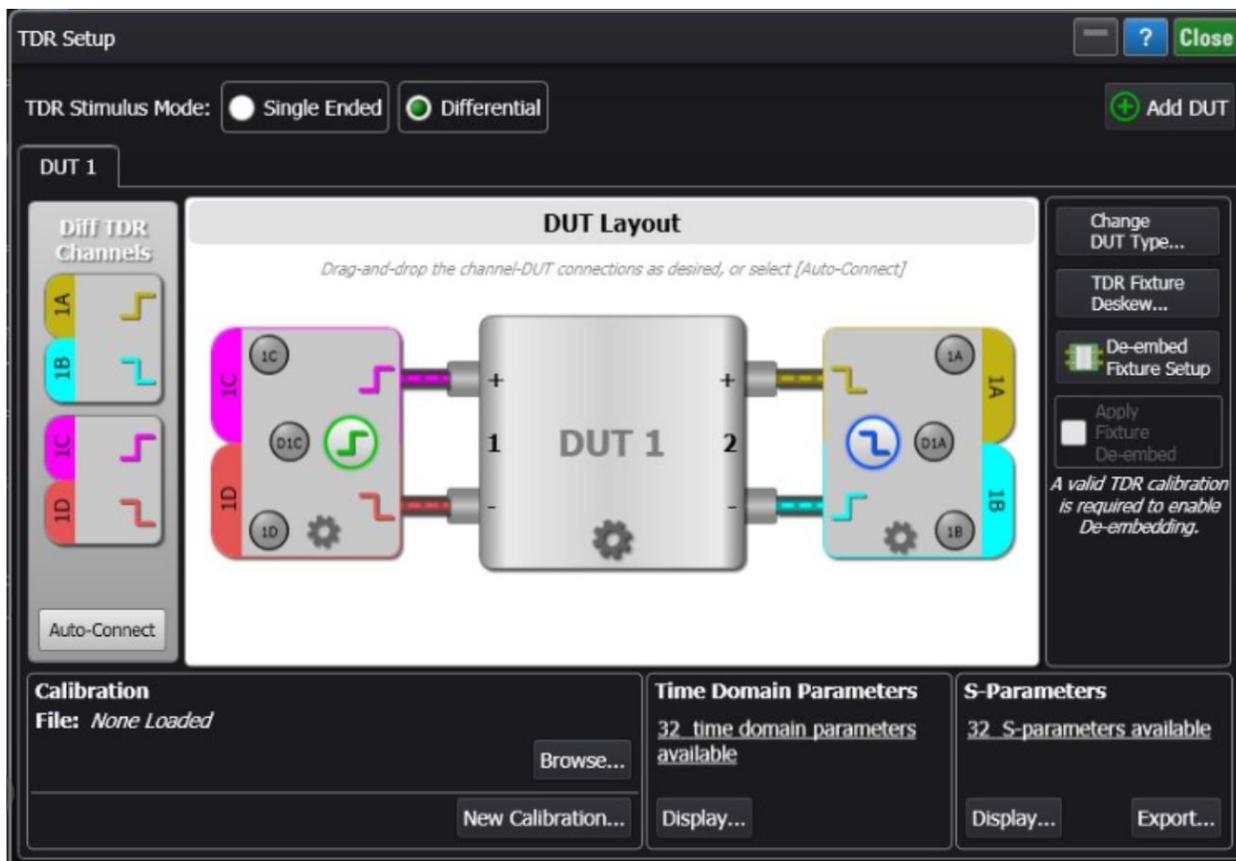


图 8. 用于 Keysight FlexDCA 采样示波器软件的 N1010300A 信号完整性程序包

## 结论

高速数字医疗系统的信号完整性测试充满了挑战，随着更快的数据速率、更高的分辨率成像和更多的边缘计算嵌入到系统中，信号完整性相关的挑战将继续增加。通过在 PCB 制造之前使用模拟软件，以及在制造后使用具有强大软件的示波器，您可以提高医疗设备的稳定性，从而降低患者的风险，将功效和安全性兼具的医疗产品快速推向市场。

有关是德科技产品、应用或服务的更多信息，  
请访问 [www.keysight.com](http://www.keysight.com)



本信息如有更改，恕不另行通知。© 是德科技 2022，美国发行，  
2022 年 8 月 25 日，3122-1786.ZHCN