

绿色工程：改善公共 铁路环境质量，创建 更安全，更经济的公 共交通



图1. 一个系统的 铁轨维护理念包含测量，定位，规划以及 维修铁轨故障

"Blackfin 处理器的 LabVIEW内置 模块近来在图形化系统 设计方面取得了一些最新发明，为 Blackfin处 理器提供了直接的编程模型，高质量方框 图和数据流语言。"

– Anders Norlin Frederiksen, [Analog Devices/DK](#)

The Challenge:

创建提高铁轨和电车 轨道监管维护质量的 方案

The Solution:

运用模拟装置 Blackfin处 理器与NI Labview软 件，可准确安全存储 所有测量及实地数 据，方便使用，并且 在更换铁轨时争取到 更长的操作时间，促 进公共交通服务更为 经济，进一步改 善。

Author (s):

Anders Norlin Frederiksen - [Analog Devices/DK](#)

Marco Schmid - [Schmid Engineering](#)

这篇案例由美国国家 仪器献给《VIP- Kongress》，完整文章在《Tagungsband》413-424页的 会议记录中出版。

在过去十年中，铁路 和电车轨道的公共交 通方式已经越来越受 到欢迎，享受舒适与 安全的乘客人数也在 不断攀升。由此，更 快的列车和更短的停 站时间就显得十分重 要。然而，这也使得 铁路和电车轨道一直 承受着巨大的机械压 力，部件的年久失修 也会引发致命的危 险。因此，人们发明 了一个新兴的系统维 护解决方案（见图 1）来支持铁路和电 车轨道的监控与维 修。

深入了解铁轨

在建造前，新的铁轨 和电车轨道都会经过 严格的检测要求来确 保正确的轨道位置。 然而，建造完成后错 误难免。（见图2）这是因为车轮与铁 轨间产生了机械接 触，这个与从列车底 座延伸到铁轨地下的 动态弹簧-质量 模块有关。铁路工程 标准明确了缺陷，临 界参数和宽容窗口。 此铁轨维护计划的目 标就是可接受范围内 保有不规则性。

铁轨轨道几何形位

轨距是指两根轨道之 间的距离，它让列车 按“正弦曲线”方式 运行。这确保了车轮 与铁轨之间的不断接 触运行，从而减少磨 损。地下发生变化会 引起铁轨倾斜，这些 变化会造成列车车身 抖动。铁轨表面不规 则例如车辙和裂洞， 也有可能由引起铁轨 倾斜。因此当列车进 出弯道时，有了系统 倾斜侧面图的帮助可 以降低对乘客的冲击 力。合适的铁轨间距 可以降低列车高速运 行时发生碰撞的几率。

纵剖面表面图

铁轨裂缝和破裂均属 于极其危险的不规 则，它们可能造成类 似脱轨的惨剧。车辙 不规则变化的典型波 长在20-100毫 米之间，当其振幅超 过0.05毫米时，列 车运行就会很噪 杂，但当振幅到达 0.3毫米峰值时， 振动就会对列车基座 造成极大的损害。车 辙往往沿着铁轨出 现，科学家们对它们 的出现也持有不同意 见。旋转中或飞驰中 的车轮通常会引发一 个裂洞，它们符合 数理方程多项式的规 律并且会瞬间造成铁 轨的凹凸不平。18 米铁路焊接接口会在 一些陈旧铁路上会造 成规则的突起状况。

横截面图

新建铁轨的磁头几何 结构完全符合接触面 几何的计算，极大优 化了车轮在铁轨交界 处的运行。它的形状 由切线和具体半径组 成，使得车轮可以经 济顺利地按照安全的 水平导引行驶。

测量铁轨

有针对性的系统铁轨 维护的主要要求是对 铁轨的现状或者电车 轨道网络几何十分熟 悉（见图2）。掌握 智能的计算策略可以 让我们对此有所了 解，这个策略包含拥 有准确GPS定位的 里程计算，磁迹几 何，路径几何，纵剖 面图以及截面图。我 们使用移动测量设备 获得了这些参数，制 造完成了测量工具。 在最终建造高级分析 软件前，我们会使用 模拟仪器 Blackfin处 理器来初始化并加工 测量数据，最后，这 个软件可以用来在电 子地图（见图3）上 再分析以及明确定位 测量数据和缺陷。

磁迹几何

使用精确到0.01 毫米范围的非接触感 应传感器原则我们便 可测量轨距。基于算 法有限脉冲响应低通 滤波器抑制了高频的 噪音，而随后的移动 平均滤波器确保了将 要不断持续的“伪高 峰”。

对于倾斜感应器我们 采用了同样的方法， 操作起来像电子水 位，正负10度角 度，可精确到 0.025度以下。因为 物理原理的关系，测 试结果只在一定频 率范围，主要是在 1赫兹以下准确可 靠。

测量道间距离需要一 系列复杂及高计算 要求的浮点算法，最 终它们可将相对简单 的水平和垂直距离数 据传输出去。（见图 10）在 Blackfin处 理器的控制下，安装 在车辆侧面的高精度 激光在1至5米得范 围内左右5度地摇晃 着。在扫描部分的内 部，相邻铁路的侧面 图是低通滤波器和中 值滤波器并从极坐标 图转换到直角坐标系 中去。再采取矢量旋 转和重采样等处理方 法后，我们通过图案 配对算法将侧面图传 送出去。目标是在轨 头找出准确的符合特 殊几何特征的矢量。 因为在铁轨中存在着 许多障碍物如石头和 草，我们需要将这个 矢量通过可行性检 验器和追踪算法以便 提供可靠准确的结果， 这些都在实时条件 下的5赫兹循环中 完成。

纵剖面图

高速测流传感器精确 到微米，可以记录铁 轨表面变化（见图 6）。线性编码器 通过 磁环来处理信 号，它的作用是记录 里程并激活a/d感 应转换器。信号通 过 装有带通拓扑的 有限冲响应滤波 器，将光谱减少到特 有的波长。除了表面 图以外，我们还可以 记录下例如局部硬化 和焊接点等冶金不 规则。

横截面图

最先进的激光科技可 以不用接触就准确测 量铁路末端部分横截 面。因为有良好的准 确率和捕捉速度，横 切激光或者激光“窗 帘”（见图4）都 可以用来使用，并实 时线性化，缩放和过 滤原始图。

旧科技-测量工具

几年前，为了分辨铁 轨的裂口和变化，维 修人员使用了许多不 同的测量工具。但每 一个方法只能用于记 录一条特定铁路的缺 陷，这些方法几乎缺 少准确性，并且不可 复制。如今，一些技 术方案供应商如施密 德工程公司将高级处 理器科技和先进的手 段融入到了设计当 中。这些方法在铁路 基础行业中的使用使 移动和多功能铁路测 量工具更加精密。

铁路监测工具（见图 5）采用一流测量技 术来同时确定铁路侧 面图，净空高，轨 距，倾斜，深度和环 境温度，并可在任何 地方进行监测与记 录。所有的关键特性 都可以当场处理和目 测结果，并将其保存 在移动存储器中。当 操作员火车车辆沿着 轨道拖动 RailSurf拖 运器（见图7）时， 铁路监测工具会不断 的监控记录纵向轨迹 参数。它装有多多个 感应器，用来定位铁 路计算和倾斜中出 现的问题，如波纹，裂 洞和裂缝。获得的信 息可以保留在移动存 储器中，或者无线传 送到操作人员的工作 界面上。

Blackfin处 理器是这个系统的核 心

作为这些测试工具的 核心， Blackfin处 理器通过对电池操作 提供动态电源管理， 使得微控制单元和电 子信号处理器得以聚 合。微控制单元一般 可与扩展输入输出设 备连接，如激光扫描 器，模拟电子感应 器，键盘，TFT屏 幕，电池/燃油表 和可移动媒体。数字 信号处理器主要处理 高级电子算法如滤 波，快速傅立叶转 换，判断几何误差或 完成其他高难度计算 任务。ADI Blackfin处 理器内置NI LabVIEW模 块，近来在图形系统 方面取得了一些最新 发明，为 Blackfin 处理器提供了直接的 编程模型，高质量方 框图和数据流语言。 可现成使用的数学分 析模块和图形多任务 处理在电子嵌入式设 计上提升到了一个新 的高度。

测量机器

由五个相互关联的 Blackfin处 理器驱动的多功能车 可以记录长达10公 里的铁路的轨道参 数，拥有5毫米的点 至点的分辨率。Blackfin # 1 处理器允许用户通过 键盘和两个TFT显 示器交互。Blackfin # 2 处理器则记录高速轨 道几何形状和纵剖 面，并将GPS信息 嵌入到 Blackfin # 3 处理器接收到的测量 数据中。连同 Blackfin # 4 处理器捕获的横截 面，所有的数据最终 被分流到 Blackfin # 5 处理器中，RAM中 大量的数据存储最终 被保存到可移动介质 上的二进制文件的缓 冲区中。

定位瑕疵

我们将所获得的测量 数据输入一个通用软 件平台，它通过 GPS定位和里程表 信息将轨道几何形 状，纵剖面以及横截 面连在一起。这个平 台使用LabVIEW和LabVIEW工具 包，它的作用就是一个 公共数据交换与分析 池。它能够连接到各 种测量设备，车辆和 维护机器上。测量过 程中的智能过滤功能 类似于X射线，可以 定位最为严重的的铁 路缺陷。最终整个轨 道的几何形状的测量 结果由数字形式展示 出来（见图2）。这 个重要的信息如今可 直接用于铁路维修、 更换等。通过无线连 接到外部数据库和 CAD软件，最终数 据记录可以转移到客 户的IT环境中。

智能强大的 Labview滤波 器可发现缺陷

我们使用智能 LabVIEW滤波 器筛选纵向数据，找 到目标处的症状。通 过FFT分析可以在 纵剖面图找出有 特征的波长进而发现 起皱部分。我们通过 将测量出的侧面图与 记忆形状和机械轮轨 接触模拟进行比较探 测到裂洞，。裂缝会 呈现出显著的突变， 因此我们区分移动数 据窗口就可以检测到 它们。最终，连续运 行和评估分析模型我 们可以在倾斜图中定 位出独特的振动模 式。

我们将检测结果纵的 症状传输到相关“超 级算法”中。由 此，我们可以从测得 数据中进一步减少信 息量或者提取额外的 有用信息。举例来 说，如果在铁轨表面 没有的相关信号峰， 单独的倾向症状是毫 无意义的，并会被退 回。然而，在横截面 上显示的纵向裂缝的 明显磨损，可以触发 报警。

评估铁路截面的主要 理念就是将测图与 参考做比较。矢量和 随机两个方法互相结 合，叠加两个侧面 图，以获得重要特 征。纵向和垂直残差 可直接显示磨损（见 图8）。其它参数包 括剩余的头部高度， 正确匀称的轨道半径 （见图9）或一个活 跃的闭合交换机的间 隔。保持后者的公差 是对确保通过交换机 的高速列车没有脱轨 的危险十分关键。这 就是为什么现在铁路 运营公司都专注于彻 底地监测交换机。

铁路工程师们可以调 整滤波器参数容限窗 口，提出那些“伪警 告”，选出真正显著 影响乘客舒适度与安 全的轨轨缺陷

在电子地图上明确缺 陷

我们使用嵌入到定位 缺陷的GPS数据，以 定位它们在数字地 图上的位置（图 3）。这一地理信息 增加了大量关于铁路 “热点”的信息与新 背景，如小半径曲 线，交换机，或车 站。我们使用 LabVIEW的图 像处理功能来实现这 个简单的地理信息系 统（EASY-地 理信息系统）。现存 感兴趣的区域（例 如，一个城市）的位 图被分解成单以拼贴 图，并配有精确的地 图坐标。当铁路工程 师浏览缺陷时， LabVIEW也不 断的从硬盘驱动器中 加载拼贴图，传输到 内存中，并组合成一 张JPG图片。此图 片接着被复制到 LabVIEW的图 形绘制指示器中并用 确切缺陷位置的数字 光标覆盖。

结果付诸应用

最后，我们将结果转 换成高端应用。为了 作进一步的分析，我 们可采用标准的 CAD系统转换主要 缺陷如磨损和裂洞的 几何图。使用图形交 换格式（DXF）文 件格式最终可以实现 目标。

通过ActiveX 数据对象（ADO），我们建 立起外部数据库管理 系统连接，它使用通 用数据链接（UDL）连接类型 和路径。我们使用了一 套高层次的虚拟仪 器和数据平台执行最 常见的数据库任务， 如处理表格和数据交 换。

VAG纽伦堡运输 作在 Microsoft Access数据库 中维持着一个预定义 和关键位置的矩阵， 它是不断的筛选，变 化的。一旦热点超过 容限窗口，一个电子 维修计划就会被建 立，并部署在维修机 器的测量设备上。

苏黎世公共交通（VBZ）的维护理 念依赖于一个内置有 Microsoft Access数据库 的商业地理信息系统 工具。铁路路段，车 站，交换机等所有基 础设施都一一列出， 只要按下按钮就可以 在地图上显示整个城 市的有轨电车网络。 类似纽伦堡，作为一 个短期和长期维护理 念的重要组成部分 VBZ的铁轨状态也 时时受到监控。通 过ActiveX和 NET机制， LabVIEW平台 可以连接到这个地理 信息系统工具上。

解决问题

从IT环境反馈产生 的维修计划作为质量 设置点被下载到维修 机器中。通过用几个 重叠碾磨运行 将铁 路返回到其原来的形 状，双 Blackfin处 理器结构能快速系统 的修复磨损或检查铁 路，支持整个的团队 的运作。Blackfin处 理器提供了一个多功 能键盘，两个TFT 显示器可以显示铁轨 以及移动存储器。两 个激光扫描仪连续捕 获20赫兹的交叉配 置快照，用CAN网 络将数据在线传输到 CPU。然后，处理 器计算偏差，将新的 设定点传送到由另一 个Blackfin 处理器控制得底层碾 磨单位。

碾磨单元由六个独立 的磨盆组成。在静压 的原则下，每个碾磨 单位提供了3度自由 空间。起初，磨盆会 水平在轨头的内部， 外部或中间移动。然 后，它会旋转偏差到 最坏的情况，最终向 下移动，直到它触及 轨头后开始移除材 料。Blackfin处 理器将PWM信号应 用到控制着静流执行 器得阀门上便可以同 时控制这18个操 作。此外，6个旋转 传感器，6个翻译仪 表，18个非接触式 位置开关，6个压力 传感器在这个定位过 程中连续受到监测。 使用传统的方法需要 花费几分钟的时间， 现在磨盆在几秒钟内 就可以自动定位。

最后，磨盆开始移除 多余的物质（见图 11）。安全和坚固 的外壳可以将电子设 备和传感器从四处飞 溅的火花，过多的灰 尘，湿度和热隔离开 来。在碾磨过程后， 使用可移动媒体，通 过在IT环境中加载 数据，质量就可得到 保证。

结论

在下一阶段的数字嵌 入式设计中，我们采 取了一个系统的维修 理念用于铁路和有轨 电车。通过在一个中 心点上利用低层次的 铁轨测量与控制及对 高层次数据进行挖掘 与分析，我们设计出 了一个最佳的成本效 益的解决方案。使用 Blackfin处 理器的可扩展的表现 与性能，计量装置和 测量/维修车辆的能 力已经充分达到了苛 刻的环境下实时行 为和坚固性的要求。

我们在设计中使用 LabVIEW环境 定位高层次的数据分 析与可视化缺陷。我 们也使用 LabVIEW来开 发复杂的数学滤波器 算法，以应对不同的 网络现场设备与IT 环境所涉及的连接挑 战。易于使用的 LabVIEW再次 推出了一个倍受瞩目 的设计，展示了重用 和重组的最佳可能 性。Blackfin 中的LabVIEW嵌 入式模块为传统 ASM或 ANSIC / C ++打开了范 式转变的算法的大 门。随着这项技术的 革新，现在它能够优 化任何铁路或电车系 统的缺陷（裂缝）的 位置。所有缺陷数据 存储在中央数据库以 备紧急修复之需或监 察。RailSurf测 量拖运器是移动智能 计量装置的第一个范 例，它实现了一个快 速，环保，维修铁路 的嵌入式解决方案。



图1. 一个系统的 铁轨维护理念包含测 量，定位，规划以及 维修铁轨故障

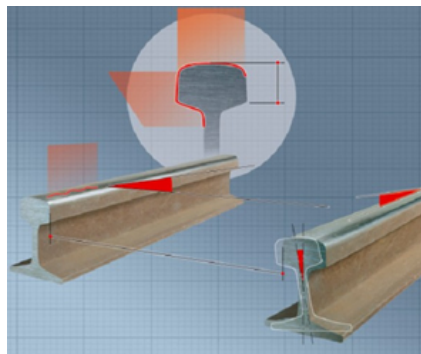


图2. 铁轨参数分为轨道几何形位，纵 剖面图和横截面图

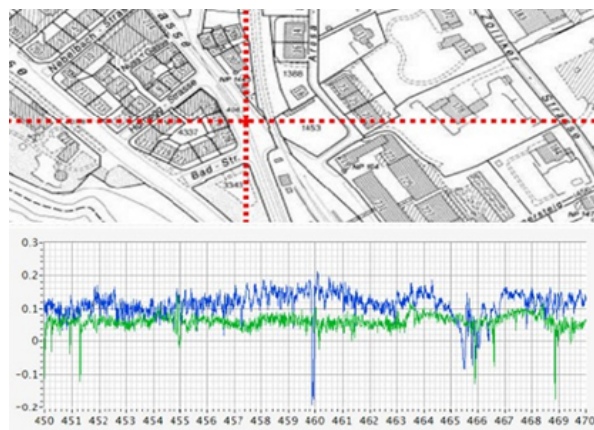


图3. 依靠全球定 位系统，可以精确地 在地理信息系统中定 位数据

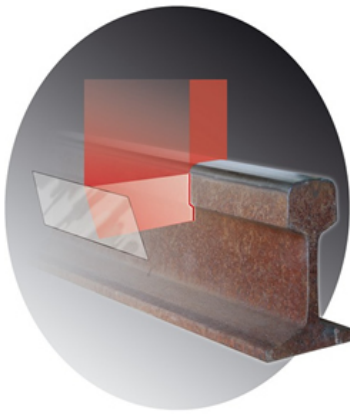


图4. 由高速激光 扫描仪捕捉到的铁轨 截面图



图5. 使用非触电 涡流传感器绘制出纵 剖面图，并用磁编码 器 脉冲调制

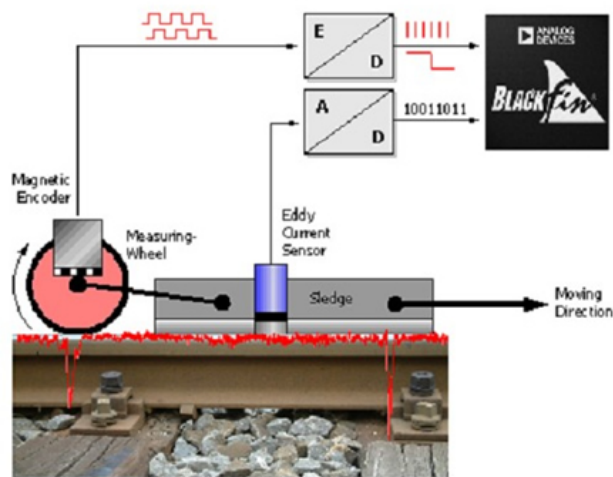


图6. 由 Blackfin处 理器和 Labview 嵌 入所驱动的 railsurf托 运器可以记录纵剖面 图的波状不规则处。 操作面板内装有 gps接收器和倾斜 传感器



图7. 智能横截面 图分析算法充分运用 了高性能的 Blackfin处 理器，可以实时就地 显示不规则处

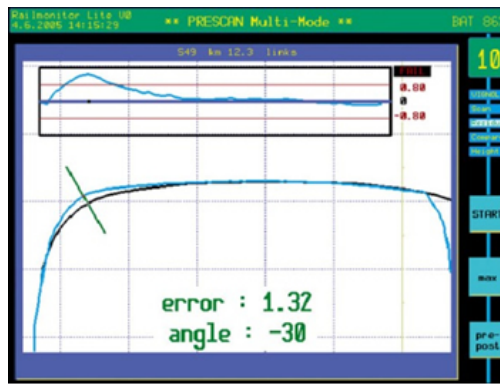


图8. 判断铁轨半径需要复杂的数学函数计算。凭借 Labview 中的 算法工程，该理论在一天中就得到了证明

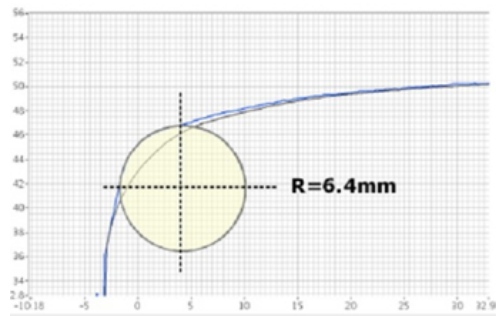


图9. 测量道间距离 (x轴/y轴) 需要在运行时拥有高性能电子信号处理算法

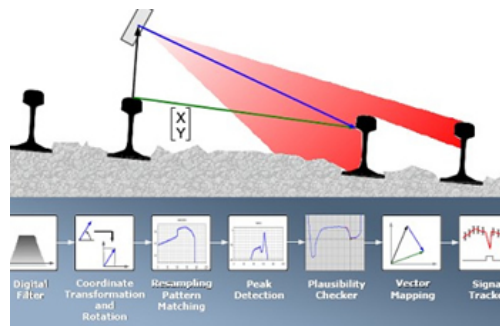


图10. 在机器维护过程中实施电子维护计划，解决磨轨的问题



图11. 恶劣的环境以及工期紧特别需要轻便易用，高效的 测量装置

Legal

This case study (this "case study") was developed by a National Instruments ("NI") customer. THIS CASE STUDY IS PROVIDED "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND AND SUBJECT TO CERTAIN RESTRICTIONS AS MORE SPECIFICALLY SET FORTH IN NI.COM'S TERMS OF USE (<http://ni.com/legal/termsofuse/unitedstates/us/>).