

# 利用人工智能和多通道 GPR 评估桥面的未来

## 探索移动测绘 GPR 如何通过实时全分辨率成像彻底改变桥面评估

维护全球数百万老化桥梁的结构完整性是一项重大挑战。传统方法在检测早期老化方面的局限性会导致被动维护、延误、错误、返工和成本增加。但是，情况正在迅速发生变化。

最新的技术发展为检测桥面最微小的缺陷提供了一种更有效的方法，具有超高的效率和前所未有的清晰度。

本应用说明展示了如何将人工智能 (AI) 与先进的多通道探地雷达 (GPR) 技术相结合，为快速、准确和主动的桥面评估提供强大的解决方案，从而显著提高生产率、安全性和资源分配。

### 挑战

我们交通网络的经济和运营效率依赖于桥梁基础设施的耐用性。由于钢筋腐蚀、湿气入侵和混凝土分解，桥面会随着时间的推移而退化。这些问题的影响直接威胁着桥面的使用寿命和性能。

早期发现任何类型的老化对于安全、经济高效的基础设施管理至关重要。积极主动、数据驱动的监测可确保桥梁更安全，维护更智能。因此，预测性维护而非被动维护的关键在于利用简便的解决方案进行长期测绘（监测）。

### 解决方案

监测是评估结构状况的关键。

[GM8000](#)，这是一个移动地下测绘平台，采用最新一代多通道 GPR 技术，实现实时全分辨率成像，并结合云计算软件和人工智能分析工具。该平台旨在为连续资产扫描提供可扩展的解决方案，是智能桥面检测的重大飞跃，也是结构健康监测的独特机遇。

除了对桥面钢筋进行精确成像外，GM8000 数据还可生成时间推移、地理参照、全分辨率的三维测量图，提供有关沥青和混凝土老化变化（开裂、脱粘、保湿）的重要信息。可对这些地图的变化趋势进行长期跟踪，以便进行风险管理评估。

### 高速数据采集

GM8000 的一个关键优势在于能够以交通速度运行，实时提供全分辨率 3D 成像。这极大地减少了大面积、破坏性封路的需要，降低了相关成本以及与长期道路施工相关的安全风险。传统的勘测方法往往需要对车道进行重大限制和交通管理，而 GM8000 则不同，它可以在对日常交通流量影响最小的情况下收集关键的地下信息。这加快了评估过程，提高了效率。另一方面，独特的实时可视化功能大大提高了扫描的效率，将需要返回现场收集更多数据的风险降至最低。

## 全面、快速的大面积覆盖

GM8000 的设计目的是在极短的时间内对大面积桥面区域提供广泛、准确的数据覆盖。该系统利用先进的多通道 GX1 天线，每次通过都能获取无与伦比的高密度 GPR 数据点云，提供无与伦比的清晰图像，与传统的 GPR 勘测相比，能更全面地了解地下情况。这种快速的大面积覆盖允许对整个桥面进行有效评估，识别潜在的异常现象和关注区域，而这些可能会被不太全面的方法所遗漏。

## 集成定位系统

为了进行有效的结构健康监测，扫描需要在一段时间内具有可比性，这就要求具有可重复性，以便跟踪桥面老化的进展情况，评估维护干预的效果，并对未来的结构性能做出明智的预测。因此，即使在没有全球导航卫星系统的地区，也必须随时进行精确定位。

GM8000 是一种基于视觉里程测量的定位系统，它利用先进的传感器融合技术，将 RTK GPS、带有自动特征跟踪功能的摄像头、惯性测量单元 (IMU) 和其他机载传感器（如精确的速度传感器）的数据结合起来，提供精确可靠的测绘。这种深度融合方法提高了定位精度，并且由于采用了捆绑调整算法，可以补偿通常在城市峡谷中产生的一些漂移误差，确保 GPR 数据与地理坐标准确对齐，即使在具有挑战性的环境中也是如此（图 6）。



Figure 5. Visual odometry-based system for data positioning.

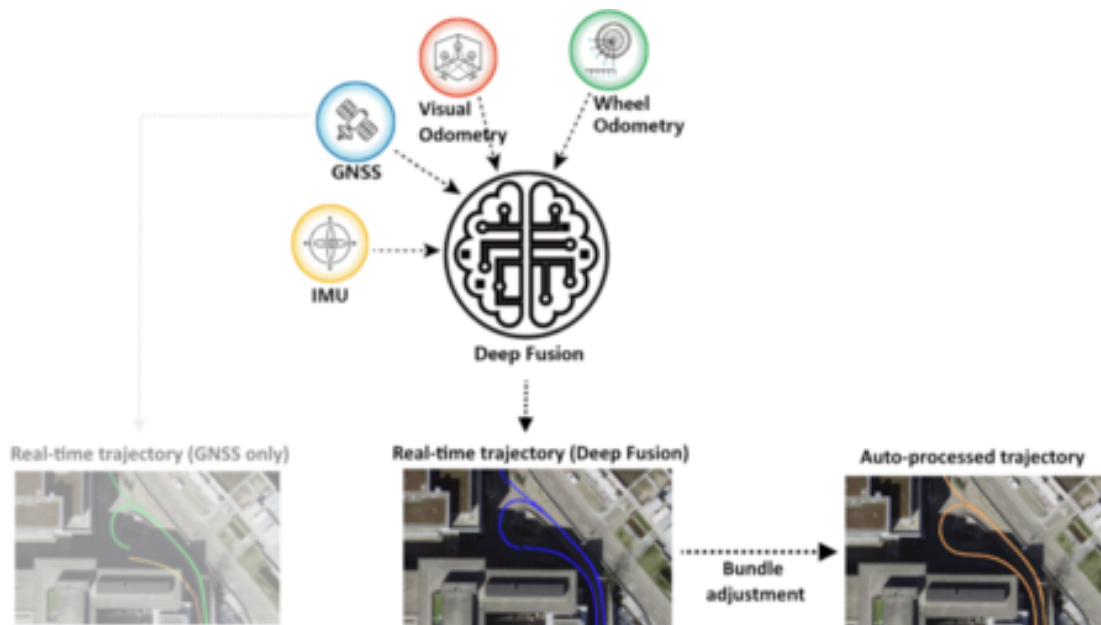


Figure 6. Advanced sensor fusion for accurate trajectory calculation

该定位系统的精确性确保了后续数据采集可以精确地参照之前的勘测。这对于可重复的长期监测计划至关重要。



## 先进的高分辨率混凝土完整性洞察

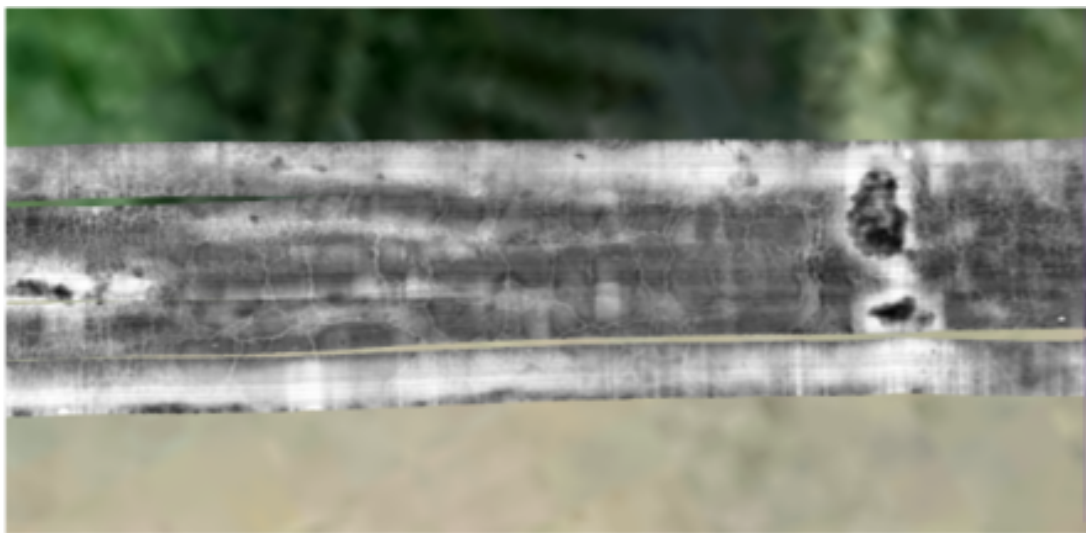
GM8000 借助 GPR Insights 软件，可对桥面进行无与伦比的高分辨率成像。详细的地下信息可精确识别各种缺陷（如裂缝、脱粘、空洞）。此外，通过读取整个桥面的信号响应和属性，可提供与钢筋腐蚀早期阶段、覆盖层厚度或湿气入侵程度相关的定性信息。

利用 GPR Insights 软件对海量数据集进行快速、自动的初步分析，为预测性维护生成可操作的交付成果：

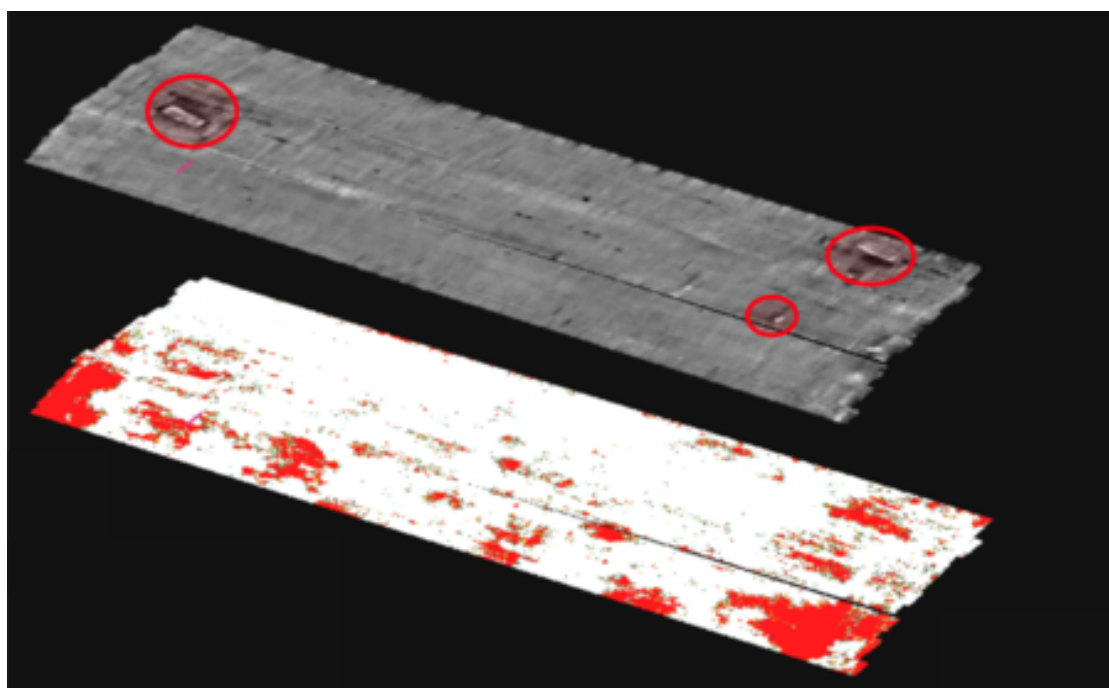
- 顶层钢筋检测：自动绘制第一层钢筋图
- 劣化图：符合 ASTM D6087 标准的状况视觉图
- 介电/速度图：第一层钢筋上方存在湿气可能性的指示器
- 混凝土覆盖图：可视化钢筋保护层深度

## 桥面状况图

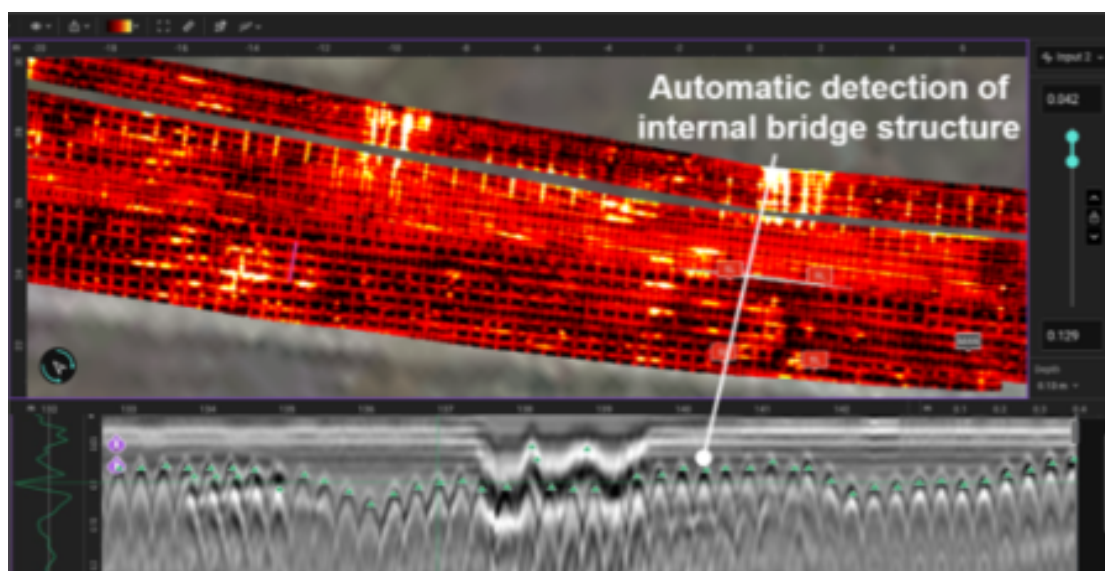
该分析从表面开始，寻找裂缝等缺陷：



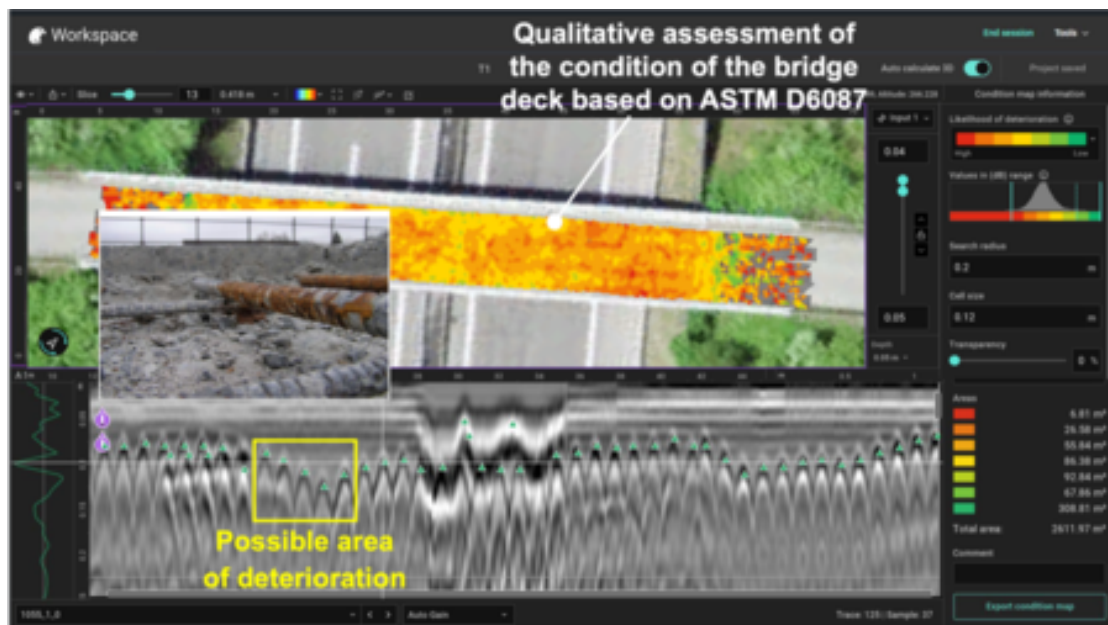
其他缺陷，如坑洼（上图）或沥青混凝土界面脱落（下图中的红色区域）



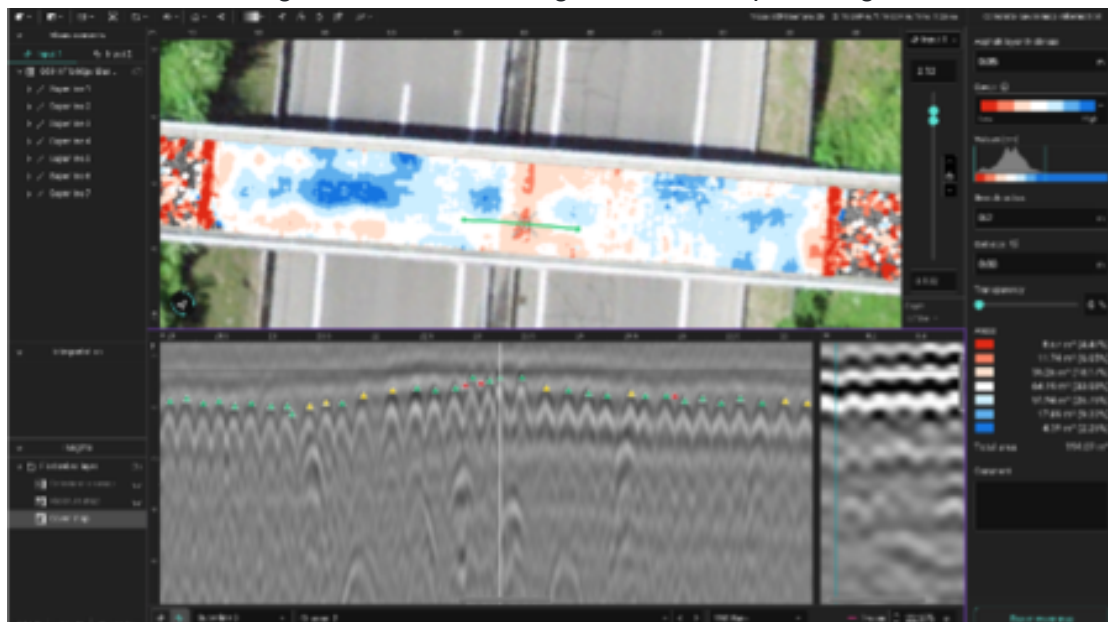
下一级是顶部增强。只需单向传输即可实现精确成像。



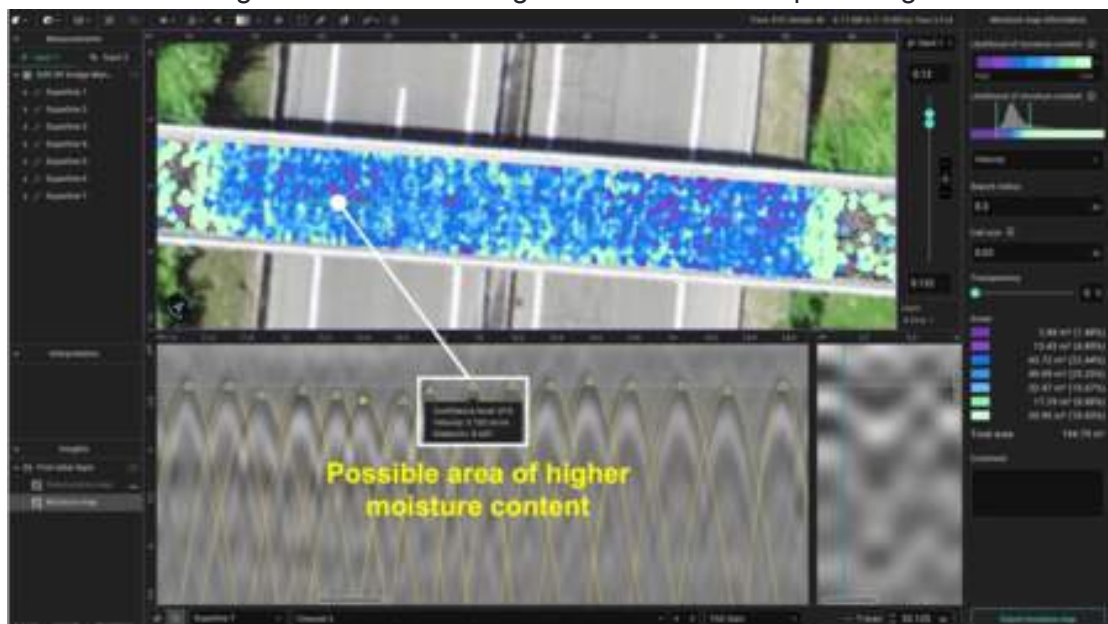
以及定性热图，用于快速绘制第一层钢筋及其上方混凝土的初步状况图。



GPR Insights software showing Condition Map of bridge deck



GPR Insights software showing Concrete Cover Map of bridge deck



## GPR Insights software showing Moisture Map of bridge deck

要进行更详细的分析，应利用提供的所有信息对所有这些信息进行搜索和解释。例如，将浅层裂缝和老化可能性的信息结合起来：

