

## 测量车辆天线辐射图和数据吞吐量的高效方法

Jan Carlsson, RanLOS AB

无论是安全或自动驾驶相关系统，还是用于软件更新或娱乐目的的数据流，汽车都越来越依赖于可靠的无线电通信。这些系统和服务的功能和性能已成为争夺客户的重要因素。即便如此，全球也只有少数几家汽车制造商投资了测试系统来测量天线性能和连接性。其主要原因是，传统的测量技术比较复杂，使用起来往往很耗时，而且需要专门的测试设施和大量投资。相比之下，RanLOS测试系统是一种经济实惠、易于使用的替代解决方案，可在开发过程中持续使用，以确保最终产品的可靠性和卓越性能。

### 背景

评估无线电通信系统性能的一种方法是测量其在实际环境中的性能。对于车辆而言，这通常被称为驾驶测试，简单地说就是在公共道路上驾驶车辆。如今，许多汽车制造商都是通过这种方式来测试其系统的。然而，这种方法会带来一些问题：今天的环境与上次测量的环境是否相同？测量结果是否具有可比性？环境是否代表典型的使用情况？是否涵盖了所有可能的情况？严格来

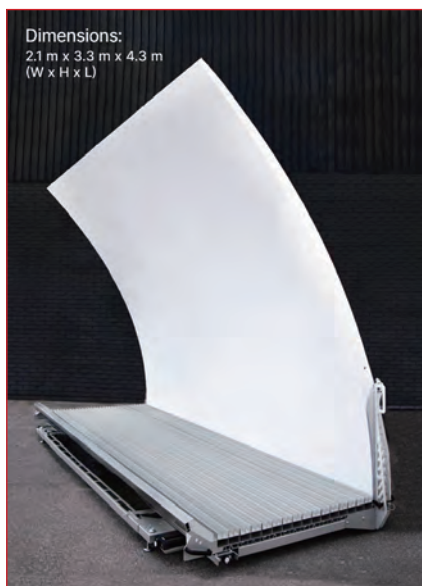


图1: 用于车辆的RanLOS测试系统。

说，所有这些问题的答案都是否定的，这就对测试的价值提出了质疑。另一个问题是，驾驶测试需要一辆几乎完工的汽车，而在许多情况下，由于保密的原因，汽车不能在公共场合行驶，至少不能在白天行驶。鉴于所有这些实际问题

和驾驶测试的有限价值，人们提出了其他方法。其中一种方法是在实验室中模拟环境。具体做法是在车辆周围放置若干圆形、半球形或类似结构的天线。然后向这些天线输入适当的信号，以模拟真实环境。有了这样的设置，就可以产生来自不同方向的波，模拟真实环境中物体的反射、衍射和散射。那么问题来了，什么环境会被模拟，这个环境是最糟糕的情况吗？另一个问题是，测试台应模拟多少种不同类型的环境，以建立充分满足测试需求的置信度。

为了解决这些问题，RanLOS创始人、查尔默斯理工大学教授Per-Simon Kildal于2000年创立了Bluetest公司。Bluetest制造混响室，用于在丰富的各向同性多径（RIMP）环境中测试移动设备。RIMP环境包含许多各向同性的多径波，信号来自所有可能的方向、振幅、相位和极化<sup>1</sup>。Kildal教授开始提出这样的想法：要想准确地测试通信系统，还必须复制视线（LOS）环境。LOS环境只包含入射到被测车辆上的单波。这种环境复制了传统的点对点通信链路。在2013年探索这些边界条件时，Kildal教授提出了一个想法：有必要在RIMP和LOS



图2: RanLOS测试系统。

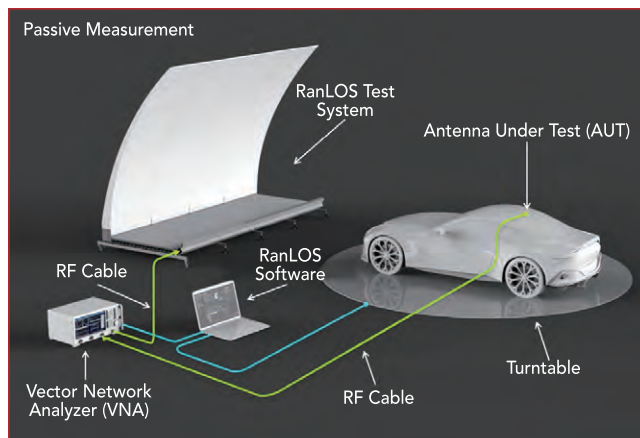


图3: 天线辐射图测量装置。

边缘环境中测试通信系统<sup>2</sup>。

2016年, Kildal教授创立了RanLOS公司, 生产可适应LOS边缘环境的测试系统。RIMP环境呈现的是我们在现实生活中很少见到的极端多径环境, 但可以在混响室中模拟。在LOS边缘环境中, 只有单波入射到被测车辆上。这是另一种在现实生活中很少出现的环境, 但Kildal教授假设, 所有真实环境都可以被描述为介于这两种边缘环境之间的环境。他的结论是, 如果一个设备在这两种边缘环境中都表现出色, 那么它在真实环境中也会表现出色。此外, 如果设备在这两种边缘环境中的任何一种环境中都表现不佳, 那么它在真实环境中的表现可能也不会很好, 至少不会像在两种边缘环境中都表现较好的设备那样好。自Kildal教授于2016年去世后, 包括他的女儿Madeleine在内的专家团队一直在开展理论和开发工作<sup>3</sup>。基于这些理论, RanLOS开发出了适用于车辆应用以及较小毫米波设备的OTA测量系统。图1显示了用于车辆的OTA测试系统的最新生产版本。

## RanLOS测试系统及应用

RanLOS测试系统包括一个由线性双极化天线阵列馈电的圆柱形反射器, 以及用于控制测量仪器和其他外围设备的软件。支持的测量仪器包括矢量网络分析仪(VNA)和通信测试仪器。外围设备的一个例子是转盘, 也可以是3D定位器。软件可控制测量步骤、收集测量数据、进行后处理并以不同方式显示结果。馈电阵列易于更换, 覆盖一个倍频程带宽。要覆盖0.75至6GHz的频段(这是目前车载通信系统最常用的频率), 需要三个馈源阵列。RanLOS已经开发出工作频率高达6GHz的馈源阵列。适用于更高频率的馈电阵列已列入路线图, 因此现有客户可以轻松升级, 无需改动反射器。

RanLOS硬件可视为一种无源双端口双极化天线, 可在短距离内产生平面波。在功能上, 它与传统CATR使用的馈电喇叭和球形反射器非常相似。与双曲面反射器相比, 圆柱形反射器的一个优点是制造更容易, 成本更低。它的宽度也可以扩展, 并可以分段制造。

图2显示了一个受天气保护的室外测量空间, RanLOS测试系统位于被测车辆前方。车辆被放置在一个转盘上, 以便在反射器前方旋转。图2所示的反射器由四个相同的部分组成, 尽管反射器天线体积较大, 但它配备了轮子, 使搬运更加方便。这样就可以方便地将反射器搬进或搬出许多汽车制造商已有的电磁

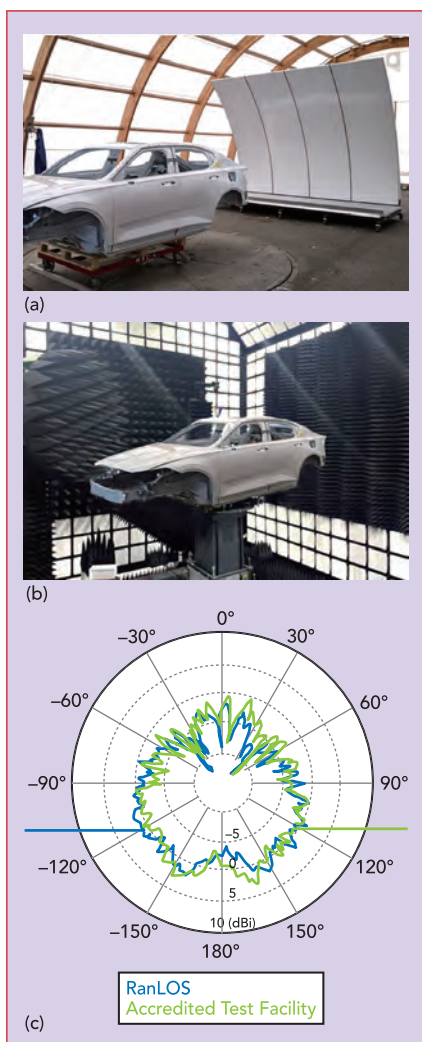


图4: (a) RanLOS系统测量Polestar车顶上的单极天线。(b)在认可的NF-FF天线测试空间内Polestar车顶上的单极天线。(c) Polestar单极天线的测量增益图谱。

兼容室。通过RanLOS装置, 可以在现有试验室中测量天线性能和连接性。

## 天线辐射图测量

如图2所示, 被测车辆放在反射器前面的转盘上。通过旋转转盘, 车辆将经历来自不同方向的入射波, 模拟LOS边缘环境。由于产生的场是平面波, 因此会产生远场条件, 测试人员可以测量远场参数, 如车载天线的增益图谱。增益图谱的测量方法是将VNA的一个端口连接到车辆上的天线, 另一个端口连接到RanLOS系统, 以测量信号传输。所有连接的测试装置如图3所示。为实现旋转, 转盘最好配备射频电缆旋转接头。

馈电阵列有两个端口, 每个极化一个。使用4端口VNA, 可以同时测量两个极化, 最多可测量两个车载天线。如果需要绝对增益值, 必须首先使用已知

增益的参考天线进行校准。

作为与其他测量方法的比较, 图4a显示了在RanLOS测量装置中, 放置在屋顶上的Polestar车身和单极天线<sup>4</sup>。图4b显示了在丹麦权威机构认可的先进的近场到远场(NF-FF)空间内测量的相同Polestar车身和天线组合。最后, 图4c显示了在2.6GHz下测量的两种测试装置的增益图谱。两种测试方法的一致性非常好。在图4b的NF-FF测量中, 场是在车辆周围半球上的各点探测的, 然后进行后处理以获得远场增益。使用RanLOS系统进行测量所需的时间取决于仪器和转盘旋转一圈所需的时间。旋转可以分步进行, 也可以连续进行, 在这种情况下, 测量是即时进行的。图4a中RanLOS混响室的测量时间不到10分钟, 这意味着RanLOS系统可用作工程工具, 用于研究天线位置、类型或制造商等因素对性能的影响。

## 连接性测量

在现代车辆中, 天线通常与无线电模块紧密集成, 因此我们无法访问测量天线增益图谱所需的端口。在这种情况下, 可将通信测试仪器连接到RanLOS系统, 而不是VNA, 这样就能对吞吐量等特性进行OTA测量。图5显示了一个典型的测量装置, 在本例中用于LTE 2×2 MIMO OTA测量。

在图5的测量装置中, 通信测试仪器与RanLOS系统一起充当基站, 向车辆上的天线和无线电调制解调器发送数据流, 这就是下行链路。上行链路通常采用较低的数据速率和调制方案, 通过单独的天线与仪器相连。图6显示了2×2 MIMO LTE系统的几条下行链路吞吐量测量曲线, 它们是被测车辆不同旋转角度下功率的函数。

每条曲线对应转盘的一个旋转角度, 代表车辆接收天线看到的不同路径的入射信号。不出所料, 高功率时吞吐量达到最大值。当功率降低并接近无线电模块的灵敏度时, 吞吐量会迅速降至零, 从而失去连接。从图6中还可以看出, 最左侧的最佳曲线与最右侧的最差曲线之间几乎相差20dB。在实践中, 这意味着车辆与基站之间的最大距离会因方向不同而不同。最佳情况和最差情况之间的差值意味着距离上的巨大差异。例如, 如果最佳情况下的最大通信距离为10千米, 那么最差情况下的最大通信距离仅为1千米左右。

如果在下行链路频率上存在来自周围环境或车辆内部的电磁干扰, 我们预计图6中的所有曲线都会向右移动。干扰的后果是最大通信距离缩短。如果干扰

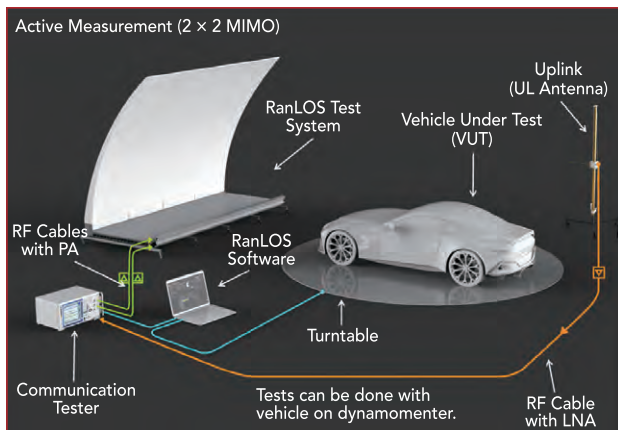


图5：无法访问天线时的典型测量装置。

来自车辆，通信距离的缩短在所有方向上都是相同的，但如果干扰来自周围环境，情况则不一定如此。由于现代车辆的电子控制部件众多，可能的干扰源也很多。因此，汽车制造商必须调查干扰对无线电通信质量可能产生的影响，尤其是对关键安全系统的影响。这种调查可以在配备功率计的电磁兼容室中方便地进行，这样车辆就可以在真实的运行模式下运行。在这种情况下，RanLOS测试系统是一个非常有用的工具。

## 结论

RanLOS开发了一种独特的、已获专利的OTA测试系统，包括用于测量天线性能和连接质量的硬件和软件。该系统不应被视为先进的专门定制天线测试的竞争对手，而应被视为一种工程工具，可定期用于改善天线性能和连接质量，尤其是车辆应用。该系统面向未来，只需更换馈电阵列，就可扩展频率范围，并根据辅助仪器确定的3G、4G或5G无线电要求进行测试。■

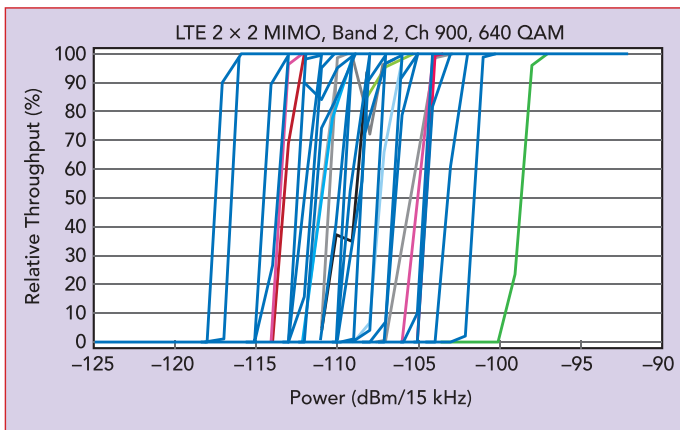


图6：测量的下行链路吞吐量与功率和车辆旋转角度的函数关系。

## 参考文献

1. K. Rosengren and P.-S. Kildal, "Theoretical Study of Angular Distribution of Plane Waves in a Small Reverberation Chamber for Simulating Multipath Environment and Testing Mobile Phones," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2001 Digest, Vol. 3, 2001, pp. 358–361, doi: 10.1109/APS.2001.960107.
2. P.-S. Kildal and J. Carlsson, "New Approach to OTA Testing: RIMP and Pure-LOS Reference Environments & a Hypothesis," Antennas and Propagation (EuCAP), 7th European Conference, 2013, pp. 315–318.
3. M. Schilliger Kildal, The Random Line-of-sight Over-the-air Measurement System, Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2020.
4. "Simulation and Verification of Wireless Technologies (SIVERT)," Vinnova FFI report 2017–05502, Dec. 2021.