



Direct to Cell (DTC) 就是这么简单！

从“信号盲区”到“全球互联”——DTC的诞生背景

当你在远洋货轮上想给家人发一条微信，或在高原无人区需要紧急呼叫救援时，传统手机往往会陷入“无服务”的窘境——这是因为地面通信基站的信号覆盖范围有限，无法触达海洋、沙漠、极地等偏远区域。为了打破这种“通信孤岛”，“非地面网络 (NTN)” 技术应运而生。与3GPP R17定义的NB&NR NTN (以下简称为3GPP NTN) 不同的是DTC (Direct to Cell) 专门针对现有的手机，现有的存量手机 (比如4G手机) 也能直连到卫星。手机硬件不需要任何修改，通过卫星侧的改动 (卫星天线和基站上星) 就可以让现有存量4G手机使用卫星通信功能，实现语音、短信和数据业务。这种方式的好处就是可以重用地面运营商的频谱资源，而劣势就是卫星侧的实现较为复杂。

DTC项目最早是在2024年1月，Space X开始部署具备DTC技术能力的Starlink卫星，到2025年7月Space X联合T-Mobile US在美国推出手机直连卫星的Direct To Cell服务，现在已有600多颗星链DTC卫星，后续还会有更高版本的DTC卫星发射。除了手机，具有4G LTE功能的手表或者设备也可以直连卫星。目前日本的KDDI和加拿大的Rogers两家运营商都准备提供对Apple Watch的星链DTC服务。

本文将从技术原理、核心难点两方面给大家介绍DTC相关内容，并介绍罗德与施瓦茨的CMX500测试系统如何为DTC落地“保驾护航”。

LTE-DTC技术原理：让存量手机“直连上天”

理解DTC的核心逻辑，关键在于其设计目标：让存量手机“误认为”连接的是地面基站，实则接入的是卫星网络。这一设计的实现，依赖于卫星、地面基站与终端的协同配合。

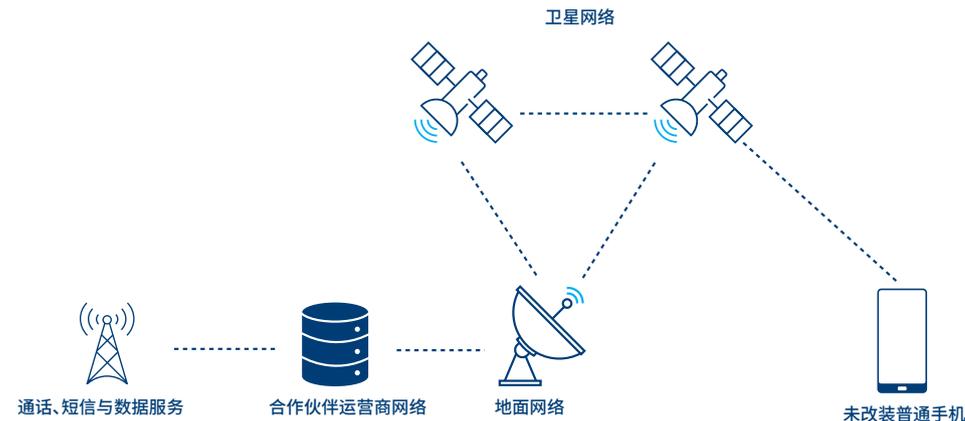


图1: DTC 网络架构

DTC的网络架构

五大组件缺一不可

如图1所示，DTC的完整网络由五部分组成，就像一条“信号传输链”将手机与全球网络连通：

- ▶ **卫星网络**：核心“中继站”，位于低地球轨道 (LEO)，负责接收手机信号并转发到地面；Starlink DTC星座的轨道高度360Km，有利于缩短信号的传播时延。DTC星座携基站上天，采用再生模式也有利于缩短系统处理的时间。
- ▶ **地面网络**：连接卫星与运营商的“桥梁”，接收卫星传来的信号，再接入传统电信网络；
- ▶ **合作伙伴运营商网络**：提供通信服务的“后台”，借助运营商的既有网络架构，实现通话、短信的信令处理、数据路由，以及与全球电信网络的互联互通。DTC携基站上天，使用的是地面网络运营商的频谱，卫星运营商需要购买频谱资源或者获得地面网络运营商对频谱资源的授权才能提供DTC服务。
- ▶ **地面基站**：对地面蜂窝网络覆盖区域的用户提供服务，图中DTC手机通过直连卫星提供的网络信号可以与有地面蜂窝网络覆盖区域的手机进行通话，短信与数据服务。
- ▶ **未改装普通手机**：就是目前的存量4G手机，这些用户不需要更换新的手机，4G手机不需要硬件修改，可能只需要软件升级、应用安装和D2C业务开通，就能在地面蜂窝网络覆盖不好的区域直连到DTC卫星。

核心技术思路

卫星“主动补偿”

DTC最巧妙的设计，在于它将“信号修正”的任务交给了卫星，而非手机。这和传统3GPP NTN标准 (另一种卫星通信方案) 完全不同：

- ▶ **3GPP NTN**：手机支持3GPP NTN功能，接收卫星发射的3GPP NTN标准信号，手机自动修正卫星快速运动带来的各种信号偏差。比如卫星快速移动导致信号延迟变化，3GPP NTN手机可以主动调整发送时间，补偿大而快的频率偏移，正常进行NTN载波同步和信号解调；存量手机是无法对这样的信号接收的。
- ▶ **DTC**：DTC卫星提前修正信号偏差。卫星会实时计算自己的位置、速度，提前补偿下行“多普勒频偏” (信号频率因卫星移动产生的变化) 和“传输时延” (信号在手机与卫星间传播的时间)，让到达手机的信号“看起来”和地面基站信号一样。在收到上行信号后，补偿上行“多普勒频偏”，调整多个UE的上行帧时间。

为了实现这种补偿，DTC通常依赖“准地球静止多波束LEO卫星”(图2所示)：“准地球静止”意味着卫星相对地面的位置变化较慢，减少补偿频率；“多波束”则能像地面基站一样，同时覆盖多个区域(图3所示)，支持大量用户接入。

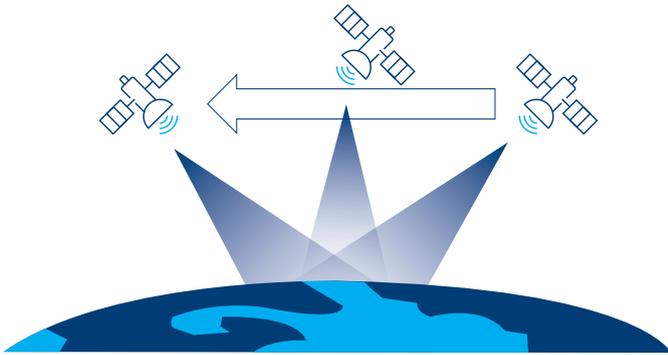


图2: 准地球静止

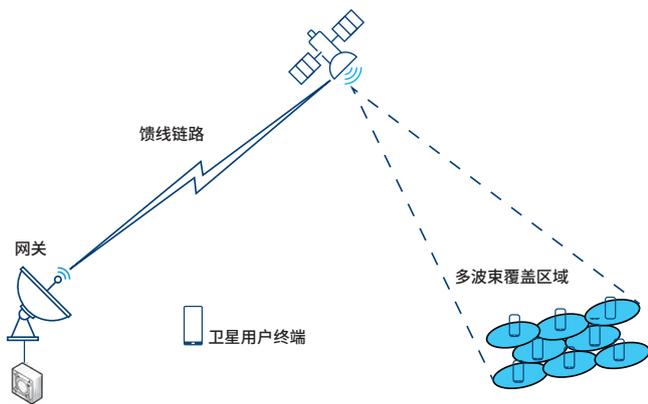


图3: 多波束LEO卫星

此外，DTC还会定义一个“参考点(RP)”(图4所示)——通常是卫星或地面网关。所有信号的时延、频率补偿都以这个点为基准确保手机接收到的信号始终“同步”，经过补偿之后，手机侧的时延(红线标识)需与参考点处时延(补偿后的时延，黄线标识)进行补齐，就像地面蜂窝网络下的时延一样，整个通信链路达到动态平衡(图5所示)。

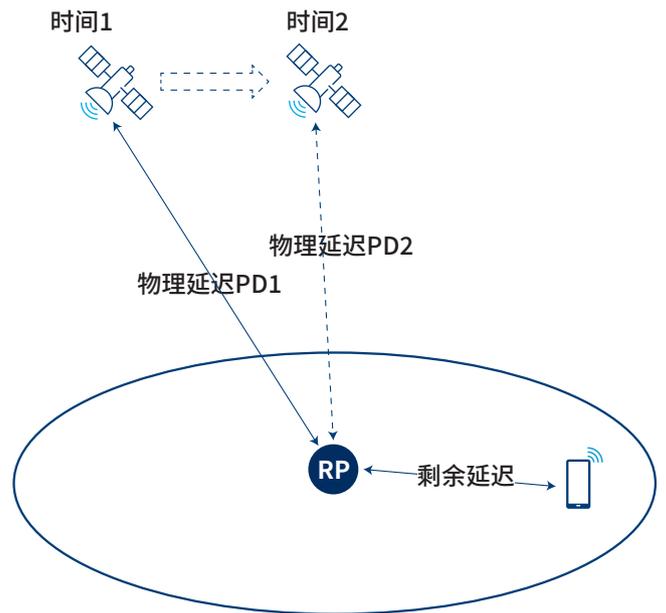


图4: 参考点

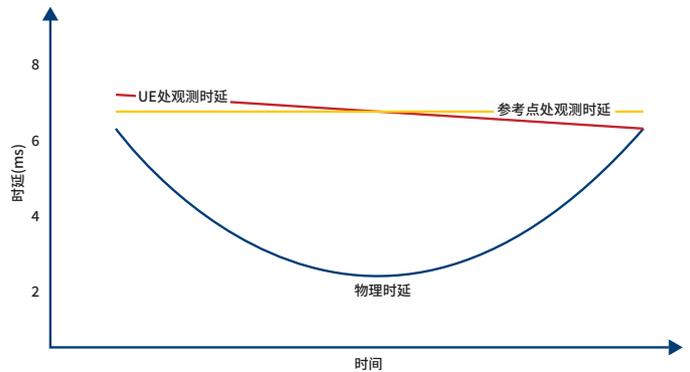


图5: 时延

DTC技术的四大核心难点： 卫星通信与地面通信协议的“矛盾”

DTC看似完美，但要实现普通手机与卫星的稳定连接，需突破四大技术难题——这些难题本质是“卫星通信特性”与“地面通信协议设计初衷”的冲突。

难点一：时延波动大，手机容易“断连”

地面通信协议基于“基站固定、覆盖范围有限”的场景设计，传播时延极小，通信协议栈的关键定时器（如HARQ RTT）均以此为基础。而DTC使用的LEO卫星，其总RTT（传播时延+卫星处理时延+地面站转发时延+协议栈处理时延）远超出地面通信HARQ机制的设计范围，导致重传机制失效、资源调度依赖过时信息、链路监控频繁误判，最终引发手机断连。

难点二：多普勒频偏，手机“解不出”信号

地面通信系统设计时，默认基站与手机相对静止或低速移动，其同步机制通常仅能容忍 ± 200 Hz至 ± 500 Hz的频率偏移。但低轨卫星带来的多普勒频偏在L/S波段可高达 ± 10 kHz至 ± 50 kHz，远超手机接收机的捕获与跟踪范围，会引发严重的符号间干扰与相位旋转，导致信号无法正确解调。更复杂的是，卫星高速运动使得频偏不仅幅度大，且变化速度快，4G手机的频率跟踪性能无法及时适配，最终导致通信失败。

难点三：快速TA调整，同步更难

DTC所用LEO卫星的轨道高度介于360-600km之间，始终处于高速运动状态，RTT（往返时间）会随卫星位置实时动态变化。而地面通信系统的定时提前（TA，Timing Advance）机制，设计初衷是适配地面场景下的缓慢时延变化，采用周期性调整模式，不具备实时跟踪快速时延波动的能力。当卫星移动引发的定时漂移超出地面通信TA机制的调整范围时，手机无法与网络保持精准同步，最终导致信号同步失败、频繁断连。

难点四：手机功率受限，影响上行信号接收

4G手机发射功率遵循3GPP规范，共划分为三个等级，具体参数如下：

- ▶ PC3：为默认等级，且是多数终端的主流支持等级，最大发射功率为 23 dBm；
- ▶ PC2：最大发射功率为 26 dBm；
- ▶ PC1：最大发射功率为 31 dBm。

这些功率等级可满足地面通信不同场景需求，存量手机以支持PC3为主，能覆盖地面网络的最大服务范围。但4G手机的设计未兼顾360-600 km的卫星通信场景，导致卫星接收到的上行信号强度不足、信号质量下降，可能超出接收机的接收范围，引发断连或数据速率不理想。

因此，实现手机直连卫星需要系统级创新，而非简单参数调整。

CMX500测试方案：为DTC落地“铺路”

CMX500
DTC的“全能测试平台”



图6：适用于DTC终端测试的CMX500平台

CMX500是罗德与施瓦茨推出的无线通信综合测试仪 (图6所示), 专门用于模拟复杂的网络环境 (包括地面基站和卫星网络)。对于DTC, CMX的核心能力是:

- ▶ 模拟DTC卫星引发的动态时延
- ▶ 模拟DTC卫星移动产生的多普勒频偏
- ▶ 模拟DTC卫星波束的仰角衰减
- ▶ 模拟DTC卫星多小区场景, 验证切换与重选功能
- ▶ 支持用户自定义卫星轨道场景

简单来说, CMX500能“复现”卫星通信的所有关键特性, 让用户在实验室环境中即可完成“手机在DTC卫星网络下的通信功能与性能测试”。

CMX500的测试验证路径
从“基础”到“定制”

基础时延验证 - 验证手机对“固定时延”的耐受能力
在CMX的MAC层 (数据链路层) 和PHY层 (物理层) 添加“可配置的调度时延”, 同时在上下行链路中设置对应的固定传输时延。比如, 模拟“调度时延3ms + 物理时延5ms”, 总RTT 8ms, 测试手机是否能正常接收信号。帮助用户快速验证“手机在卫星网络下是否会断连”, 为后续测试打下基础。

动态时延与多普勒模拟-模拟真实卫星移动场景
CMX500的后台模块可依据卫星轨道参数, 实时计算手机位置对应的时延、多普勒频偏与卫星仰角; 同时, 系统会预计算多组“卫星轨道剖面”, 用户通过GUI (图形界面) 即可直接选择 (图7所示), 无需手动计算。这一设计能让用户在实验室环境中复现“卫星飞过头顶”的真实场景, 且GUI界面会图形化展示卫星仰角变化 (图8所示), 从而精准测试手机的动态适应能力。

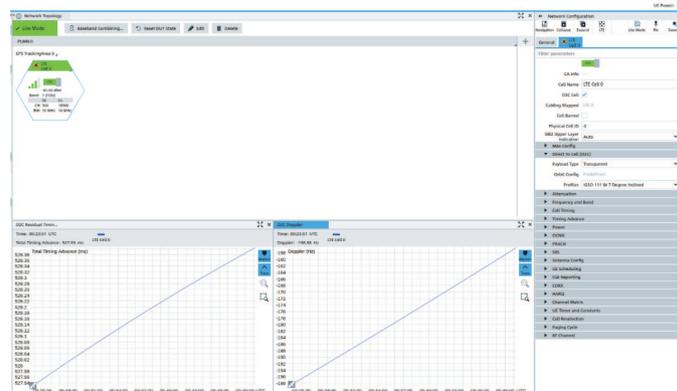


图7：卫星轨道配置

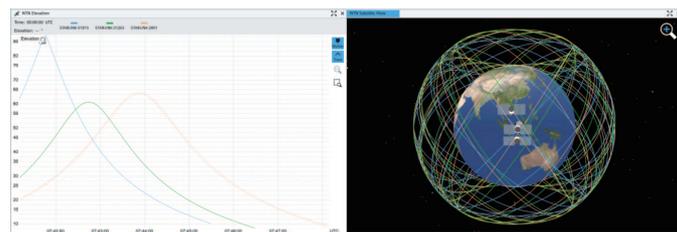


图8：卫星轨道剖面

用户在GUI界面只需选择“卫星轨道类型”，CMX会自动计算时延、频偏等复杂参数。当选中任一卫星星座后，界面将显示随卫星移动过程中剩余时延与多普勒相关参数，图9所示。

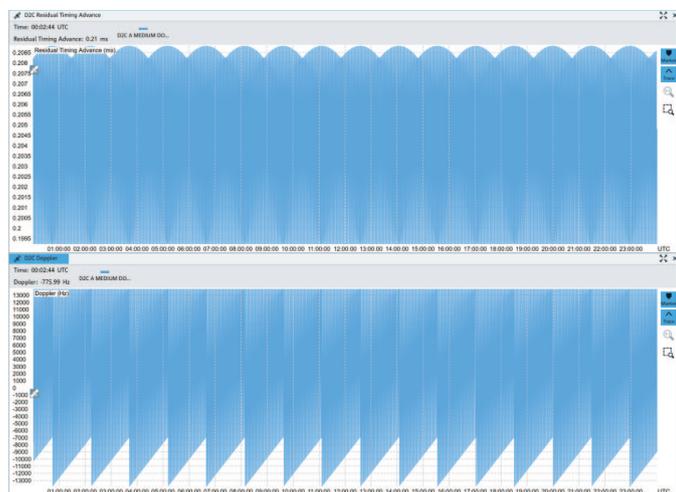


图9：时延和多普勒频移

用户可以通过图形化界面观测手机发送的信号状态，图10所示测得手机载波频偏。

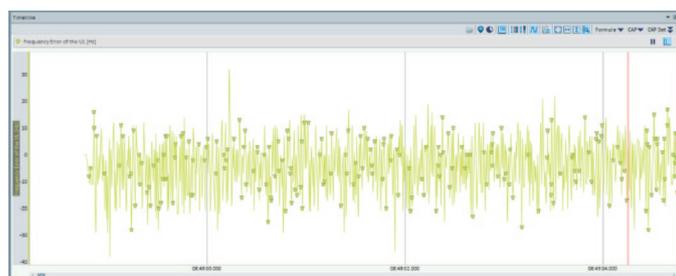


图10：手机载波频偏测量

外场测试用例模拟-模拟LTE-DTC测试用例库

CMX500基于外场测试场景开发的多个测试用例库，包含：

- ▶ 附着时长和附着成功率
- ▶ A3事件的同频LTE D2C小区切换
- ▶ 同频LTE D2C小区的重选
- ▶ LTE D2C小区无线链路异常和恢复
- ▶ 频率跟踪误差测量
- ▶ 地面网络和非地面网络之间的切换

这些用例直接可以进行场测数据的快速测试和分析，使得DTC测试变得快速，简单和方便。

自定义场景导入-根据客户需求导入卫星配置

适配客户专属卫星方案，支持客户以CSV格式 (类似Excel表格) 导入“自定义的时延/多普勒数据”——比如客户自己设计的卫星轨道，每1秒的时延、频偏值，CMX会按这个表格模拟场景 (图11所示)。

满足不同卫星公司、运营商的“定制化测试需求”，不用依赖通用场景。

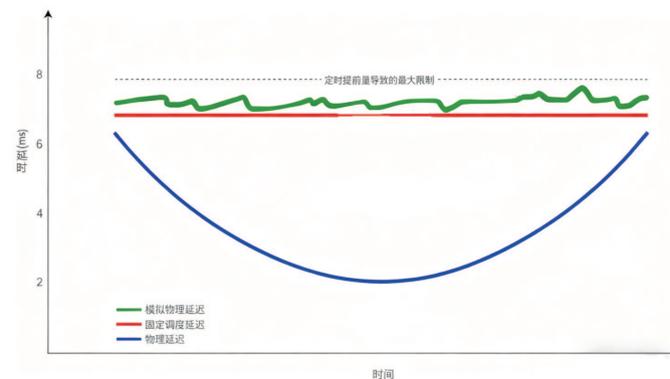


图11：CMX模拟配置延迟

DTC让“全球无死角通信”不再遥远

LTE-DTC技术的核心价值，在于它让“普通手机连接卫星”从“技术构想”变成了“现实可能”——未来，无论是远洋航行、极地科考，还是山区救援，我们都能随时用手机保持联系。而CMX测试方案，则是DTC落地的“关键推手”：它通过模拟真实卫星场景，帮助产业链解决技术难点，验证产品性能，让DTC的商用化进程更快、更稳。

随着卫星技术的进步和测试方案的完善，相信在不久的将来，“全球无死角通信”将不再是口号，而是每个人都能享受到的基础服务。

更多NTN技术内容与罗德与施瓦茨解决方案请关注：



NTN技术方案合集



白皮书

增值服务

- ▶ 遍及全球
- ▶ 立足本地个性化
- ▶ 可定制而且非常灵活
- ▶ 质量过硬
- ▶ 长期保障

关于罗德与施瓦茨公司

罗德与施瓦茨科技集团开发、生产和销售种类广泛的专业电子产品。公司推出丰富的产品组合，旨在缔造一个更加安全的互联世界。在测试与测量、安全通信、网络和网络安全以及广播和媒体等市场，全球客户都信赖罗德与施瓦茨及其提供的先进解决方案。在成熟的业务领域之外，罗德与施瓦茨还大力投资人工智能、工业物联网(IIoT)、6G、云解决方案和量子技术等各种未来技术。自公司创立以来的90多年，罗德与施瓦茨是众多行业客户的可靠合作伙伴。

罗德与施瓦茨(中国)科技有限公司

800-810-8228 400-650-5896

info.china@rohde-schwarz.com

www.rohde-schwarz.com.cn

官方微信



官方视频号



Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

可持续性的产品设计

- ▶ 环境兼容性和生态足迹
- ▶ 提高能源效率和低排放
- ▶ 长久性和优化的总体拥有成本

北京

北京市朝阳区紫月路18号院1号楼(朝来高科技产业园)罗德与施瓦茨办公楼 100012
电话: 010-56108074 传真: +86-10-64312828

上海

中国上海市浦东新区张江高科技园区盛夏路399号亚芯科技园11号楼
罗德与施瓦茨办公楼 201210
电话: 021-63750018/63750028

深圳

深圳市南山区高新南环路43号 威新软件科技园1号楼2楼东/南翼 518057
电话: 0755-22985864 传真: +86-755-82033070

成都

中国成都市高新区天府大道 天府软件园A4号楼南一层 610041
电话: 028-62677640 传真: +86-28-85194550

西安

西安市高新区锦业一路56号 研祥城市广场5楼502室 710065
电话: 029-83663470 传真: +86-29-87206500

武汉

中国湖北省武汉市武汉经济技术开发区201M地块海棠路6号
华中智谷项目二期D2办公室2层1号 430051
电话: 025-83484142

R&S®是罗德与施瓦茨公司注册商标

商品名是所有者的商标 | 中国印制

2025年12月 | Direct to Call (DTC) 就是这么简单!

文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改