

塔康与5G通信融合的可行性及应用前景

尹长彬 刘新强 李子洋

天津七六四通信导航技术股份有限公司 天津 300385

摘要：为解决传统塔康导航数据交互薄弱、带宽有限，以及5G低空定位稳定性不足的行业痛点，本文围绕塔康与5G通信融合展开研究。从技术、架构、成本多维度论证融合可行性，梳理电磁兼容、时空同步等核心融合技术，搭建一体化融合架构。同时分析其在低空通航、应急保障等场景的应用价值，剖析行业现存约束与挑战，提出优化策略，展望技术、产业未来发展趋势，为空地通导融合落地提供参考。

关键词：塔康；5G通信；融合；可行性；应用前景

引言：低空经济快速发展对空地导航与通信一体化服务提出更高要求，传统塔康导航系统功能单一、数据传输能力薄弱，难以适配智能化、宽带化航空作业需求。5G通信具备低时延、高带宽、通感一体化优势，可与塔康高精度导航能力形成互补。基于通导融合技术理论，本文系统探究二者融合的可行性、关键技术与应用场景，剖析现存发展瓶颈，给出优化方案与发展展望，助力空地一体化通导体系建设与规模化落地。

1 塔康系统与5G通信核心技术理论基础

1.1 塔康导航系统核心技术

塔康系统测距采用询问—应答式脉冲时间测量方法，即机载设备在发出测距询问脉冲时开始计时，待收到信标的回答信号后终止计时，测量由发至收得测距信号的时间间隔，计算出飞机与信标之间的距离。系统测距原理如图1所示。

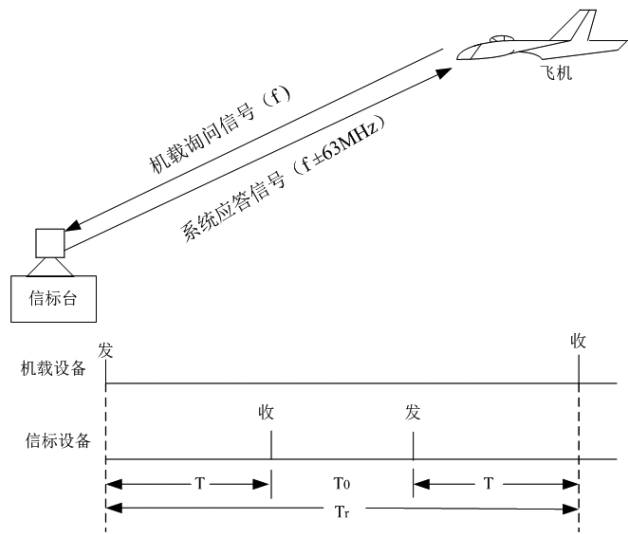
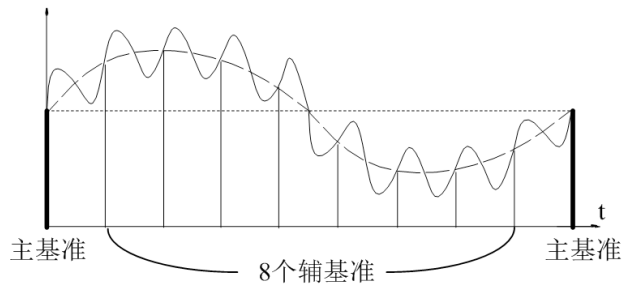
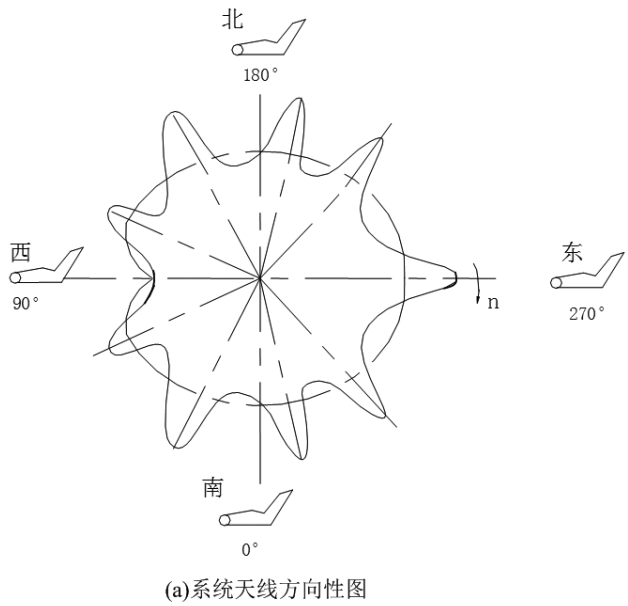


图1 塔康系统测距原理示意图

塔康系统测向采用天线在水平面上进行单一心脏形

方向性图并附加九瓣调制，它以15周/秒的速度顺时针旋转，向周围空间发射脉冲信号。在同一时刻，其周围不同点上收到的信号幅度不一样，随着时间的变化，各点上所收到的信号幅度也在变化，信号包络为15Hz和135Hz复合的正弦波。



(b)信标正南方机载设备收到的信号包络

图2 塔康系统测位原理示意图

传统塔康系统技术特性优点：具备全域空域覆盖能力，定位精度稳定，抗干扰性较强，可适配复杂航空环境。传统塔康系统应用短板：系统传输带宽有限，仅能满足基础导航定位需求，以单向导航为主，数据交互能力薄弱，智能化运算与自主适配能力不足，无法支撑高速宽带数据业务，仅适配传统航空导航场景，场景拓展性较差。

1.2 5G通信系统核心技术

(1) 5G关键技术：融合超密集组网、Massive MIMO、毫米波通信技术，搭配低时延高可靠传输技术，实现网络容量、传输速率与通信稳定性的全方位提升。

(2) 5G通感一体化特性：实现通信、感知、定位功能深度融合，支持空地多维信号覆盖，可适配低空、高速移动等复杂空域应用场景。(3) 5G网络架构优势：采用扁平化网络架构，组网方式灵活、拓展性强，可兼容承载通信、定位、数据传输等多类业务，适配多元应用需求^[1]。

1.3 通导融合技术基础理论

(1) 通信导航一体化技术原理：通过信号兼容调制、频谱资源共享、多源数据协同处理，打破通信与导航系统的技术壁垒，实现功能互补。(2) 空地异构网络融合基础：依托协议适配、信号互通、网络协同机制，实现地面5G网络与空域导航网络的异构融合与联动工作。(3) 通导融合性能评价指标：主要以传输时延、定位精度、通信可靠性、抗干扰能力、带宽利用率为核心指标，全面衡量融合系统综合性能。

2 塔康与5G通信融合可行性分析

2.1 技术层面可行性分析

信号兼容可行性：塔康导航信号与5G通信信号采用独立频段布局，频段划分清晰、相互隔离，频谱无重叠冲突。两类信号可在空域中独立传输，无电磁干扰，可长期稳定共存，为通导融合提供基础信号支撑，无需大规模调整信号制式与频谱布局。

功能互补可行性：塔康系统拥有成熟高精度的空域导航定位能力，可弥补5G低空定位精度不足、空域定位稳定性差的短板。5G具备高速宽带、低时延、大容量传输优势，可解决塔康数据交互单一、传输带宽受限的问题，二者高度互补，有效提升系统综合性能。

组网适配可行性：5G组网灵活、拓扑动态、可按需部署，既能适配塔康传统固定基站常态化部署，也能满足机动式塔康设备临时部署需求，支持动态组网与灵活联动，可实现不同部署模式下的网络深度融合。

2.2 架构层面可行性分析

(硬件架构可改造性：现有塔康导航设备硬件架构预留拓展接口，无需整体拆解和大规模设备替换，仅通过加装5G通信适配模块、信号处理模块即可完成硬件升级

改造，改造难度低、硬件适配基础良好；软件架构兼容性：5G通信协议体系具备极强的开放性与兼容性，可适配塔康导航数据传输协议，通过数据格式转换、协议适配调度，能够实现两类系统数据互通、资源联动与统一调度，构建一体化数据处理体系^[2]；运维架构适配性：塔康与5G融合系统可沿用原有导航与通信运维体系和管理制度，无需搭建全新运维架构，仅需优化部分运维流程，有效降低系统升级、日常运维与人员培训成本。

2.3 融合现存约束条件分析

技术约束：在复杂电磁环境下，高密度信号叠加易引发协同干扰问题，同时塔康与5G系统的高精度时空同步校准难度较大，容易出现数据延迟、定位偏差等问题，影响系统运行稳定性。

标准约束：目前行业内尚未形成统一的塔康-5G通导融合技术标准，在信号适配、数据交互、组网融合等方面缺乏规范依据，制约了融合技术的标准化落地与规模化应用。

性能约束：在飞行器高速移动、超远距离空域传输场景中，融合系统的信号切换稳定性、数据传输可靠性会有所下降，动态抗衰落、抗干扰性能有待进一步优化提升。

3 塔康与5G通信融合关键技术与实现方案

3.1 塔康-5G通导一体化融合架构设计

(1) 分层融合架构搭建：采用感知层、传输层、数据层、应用层四层一体化架构设计。感知层负责空域信号采集与位置感知，传输层承载塔康导航与5G通信信号传输，数据层完成多类信息汇总处理，应用层面向各类低空作业与公共服务场景输出功能服务，实现全层级一体化协同运行。(2) 硬件融合模块设计：依托导航通信一体化终端，整合塔康定位接收模块与5G通信传输模块，同时对现有塔康基站进行适配性改造，增设5G信号处理与交互单元，在保留原有导航硬件功能的基础上，实现通信与导航硬件一体化集成部署^[3]。(3) 软件协同调度架构：搭建智能化软件调度体系，集成多源数据融合、网络资源动态调度、系统智能管控三大核心模块，可对导航、通信数据进行统一处理，按需分配频谱与信道资源，实现融合系统的自动化管控与高效协同运行。

3.2 核心融合关键技术

电磁兼容与抗干扰技术：针对塔康与5G双信号共存场景，优化信号频谱布局，通过智能干扰检测算法实时识别电磁干扰源，结合自适应干扰抑制策略，有效降低空域信号叠加产生的干扰问题，保障双系统稳定共存。

时空同步融合技术：构建统一的时空基准体系，设计塔康导航时序与5G通信时序的精准校准方案，解决双系统时序偏差问题，实现时间、空间维度的高精度同

步,为数据融合与协同组网提供基础支撑。

通导数据融合处理技术:采用高效数据融合算法,对塔康高精度定位数据与5G高速通信数据进行联动解析、筛选与整合,统一数据输出格式,实现导航信息与通信信息的深度融合输出,提升系统综合服务能力。

动态组网适配技术:针对机动作业、高速移动等场景,运用动态组网技术实现融合网络的快速搭建与拓扑重构,通过链路自适应优化算法实时调整传输参数,保障复杂机动场景下网络链路的稳定性。

3.3 融合系统性能仿真与验证

仿真环境搭建:依托专业仿真平台,搭建贴合实际应用的空地一体化仿真场景,模拟复杂空域、电磁干扰、高速移动等典型工况,为系统性能测试提供真实可靠的仿真环境;**核心性能测试:**围绕系统核心指标开展全方位测试,涵盖定位精度、数据传输时延、通信带宽、电磁抗干扰能力等关键参数,全面采集融合系统运行性能数据;**仿真结果分析:**通过与单一塔康导航系统、单一5G通信系统的测试数据进行横向对比,量化分析融合系统的性能提升效果,有效验证通导融合架构与关键技术的可行性与性能优势。

3.4 融合系统优化策略

复杂场景性能优化:针对低空遮挡、电磁密集等恶劣场景,采用信号增强、多路径补偿等优化方案,削弱环境对信号传输的影响,提升复杂工况下系统运行稳定性;**资源配置优化:**基于场景业务需求,制定频谱、算力、信道资源动态分配策略,智能调配系统资源,避免资源闲置与拥堵,大幅提升资源利用效率;**容错与冗余优化:**完善系统容错机制与冗余备份设计,针对信号中断、数据异常等故障场景实现快速切换与应急响应,有效提升融合系统的运行稳定性与应急保障能力。

4 塔康与5G通信融合应用前景与发展展望

4.1 核心应用场景分析

低空通航领域:通导融合系统可支撑通用航空常态化飞行导航,为低空无人机巡检提供高精度实时定位服务,精准管控低空物流飞行轨迹与起降区域,有效解决传统低空作业定位不准、通信滞后等痛点,助力低空通航作业常态化、规范化开展。

应急保障领域:面对自然灾害、突发事件等复杂场景,系统可搭建现场空地应急通信链路,凭借高精度导航实现救援人员、设备的精准定位,依托低时延数据传输完成远程指挥调度,大幅提升应急救援的响应效率与作业精准度。

行业作业领域:可适配电力巡检、海洋监测、山地勘探等各类野外行业场景,通过空地协同通信与高精度

定位,实现无人化、智能化作业,规避野外人工作业风险,有效提升行业作业效率与数据采集精准度。

公共服务领域:可为城市空域管控、低空交通调度、低空安防监管提供全面技术支撑,实现低空飞行活动常态化监测与规范化管理,补齐低空公共服务基建短板,保障空域安全有序运行。

4.2 融合应用优势与价值分析

技术价值:塔康与5G的深度融合实现了通信与导航功能一体化升级,突破了传统塔康数据传输能力弱、5G低空定位精度不足的技术瓶颈,构建起高精度、低时延、多功能的新型空地通导体系;**产业价值:**该融合技术可深度赋能低空经济、智慧安防、智能巡检等多个新兴产业,推动传统空地作业模式数字化、智能化转型,拓展低空产业应用边界,为相关产业链升级提供核心技术支撑;**社会价值:**融合系统能够大幅提升公共应急保障与空域调度能力,有效盘活低空空域资源,提高空域利用效率,完善国家空地一体化基础设施体系,具备显著的社会服务与公共保障价值。

4.3 未来发展趋势展望

(1) **技术趋势:**随着通信技术迭代,通导融合技术将逐步向5G-A、6G新一代通信技术演进,实现通信、感知、计算、智能一体化融合,朝着全域覆盖、高精度、高可靠的智能化通导体系方向持续发展。(2) **应用趋势:**未来应用场景将实现全域化覆盖,服务模式更加精细化、定制化,同时依托智能算法实现系统自主运维、故障自诊断,全面提升通导服务的智能化水平。(3) **产业趋势:**行业将逐步形成统一标准、规模部署、商用落地的完整产业生态,构建成熟的塔康与5G通导融合产业链,推动技术成果持续转化,实现低空领域产业化高质量发展。

结束语

本文系统完成塔康与5G通信融合的可行性论证、关键技术研究与应用场景分析,明确二者功能、架构高度互补,具备良好的技术、经济与落地优势。融合方案可有效弥补单一系统性能短板,构建高性能空地通导体系。现阶段行业仍存在技术、标准等约束,未来需持续迭代核心技术、完善行业标准。随着技术持续演进,该融合模式将深度赋能低空产业,拥有广阔的应用与发展前景。

参考文献

- [1]张坚.5G通信信息技术在物联网时代的应用探讨[J].物联网技术,2022,12(7):116-118.
- [2]马艳.移动通信信息技术的应用及其未来发展探究[J].数字通信世界,2023,7(11):94-95.
- [3]王科.5G智慧轨道交通车辆基地一体化创新应用研究[J].智慧轨道交通,2024,61(2):18-22.