

星闪技术：一种确定性短距无线通信方案

张东阳*, 张亚超, 侯兴晨

沈阳理工大学装备工程学院, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年11月17日; 录用日期: 2026年1月16日; 发布日期: 2026年1月29日

摘要

为解决传统短距无线技术在智能汽车、工业控制等场景下面临的高时延与低可靠性问题, 即“确定性鸿沟”, 本文对新一代星闪(NearLink)无线通信技术进行了系统性分析。文章首先剖析了星闪为实现确定性通信所采用的核心技术, 包括其集中式调度机制、SLB (SparkLink Basic)/SLE (SparkLink Low Energy)双模接入架构以及集成了Polar码和HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)机制的物理层设计。分析结果表明, 星闪通过上述设计, 在关键性能上取得了显著提升, 其空口时延低于20 μs, 传输可靠性高于99.999%, 峰值速率可达920 Mbps。目前, 星闪技术已在消费电子、汽车电子、工业控制等领域得到初步商业应用, 相关产业链与生态系统正在构建中。本文认为, 星闪技术为需要精密同步和高可靠性交互的应用场景提供了有效的解决方案, 标志着短距无线通信正从“尽力而为”的模式向着提供可预测服务的方向发展, 具备较好的应用前景。

关键词

星闪, 短距无线通信, 确定性通信, 低时延

NearLink: A Deterministic Short-Range Wireless Communication Solution

Dongyang Zhang*, Yachao Zhang, Xingchen Hou

School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang Liaoning

Received: November 17, 2025; accepted: January 16, 2026; published: January 29, 2026

Abstract

To address the high latency and low reliability issues faced by traditional short-range wireless technologies in scenarios such as smart cars and industrial control, namely the “determinism gap”, this

*通讯作者。

article systematically analyzes the new generation of NearLink wireless communication technology. The article first analyzes the core technologies used by NearLink to achieve deterministic communication, including its centralized scheduling mechanism, SLB (SparkLink Basic)/SLE (SparkLink Low Energy) dual-mode access architecture, and a physical layer design that integrates Polar codes and HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) mechanisms. The analysis results show that through the above design, NearLink has achieved significant improvements in key performance, with an air interface latency of less than 20 μ s, a transmission reliability of more than 99.999%, and a peak rate of up to 920 Mbps. Currently, NearLink technology has been initially commercially applied in consumer electronics, automotive electronics, industrial control and other fields, and the relevant industry chain and ecosystem are being built. This article believes that NearLink technology provides an effective solution for application scenarios that require precise synchronization and high-reliability interaction, indicating that short-range wireless communications are evolving from a “best effort” model to providing predictable services, and have good application prospects.

Keywords

NearLink, Short-Range Wireless Communication, Deterministic Communication, Low Latency

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着物联网、车联网及工业互联网的发展，对无线通信的要求已从提供基础连接，转变为保障高效、稳定与确定性的数据交互。当前，主流的短距无线技术，如 Wi-Fi 与蓝牙，普遍采用基于竞争的信道接入机制[1]。这种“尽力而为”的传输模式在高密度、高实时的应用场景下，难以提供可预测的时延与可靠性保障，形成了“无线确定性鸿沟”[2]。尤其在要求微秒级同步的工业控制或车载系统中，现有技术的毫秒级时延已成为其应用的主要制约因素。

为应对此挑战，新一代短距无线通信技术——星闪(NearLink)技术应运而生。该技术通过对底层通信架构进行系统性重构，旨在从根本上解决无线传输的随机性问题。星闪的核心目标是实现低空口时延与高传输可靠性，推动短距无线通信向确定性模式演进。本文旨在对星闪技术进行全面分析，将剖析其核心技术体系与架构，梳理其发展历程与产业链现状，并对其主要应用、未来前景及面临的挑战进行探讨。

2. 星闪技术概述

星闪是一项旨在提供确定性通信能力的新一代短距无线技术，其技术体系通过对协议栈的底层重构，以解决传统基于竞争接入机制的无线通信在时延、可靠性与同步精度方面的局限性。

2.1. 系统架构与调度机制

星闪的核心技术框架建立在集中式网络拓扑与双模接入架构之上，其网络由一个管理节点(G-Node)和多个终端节点(T-Node)构成。G-Node 负责整个通信域内的时频资源分配、调度及网络同步，而 T-Node 则依据 G-Node 的指令在指定的资源块上进行数据收发[3]。这种非竞争性的调度机制消除了信道访问的随机冲突，是实现可预测低时延与高可靠性的基础，具体机制如图 1 所示。

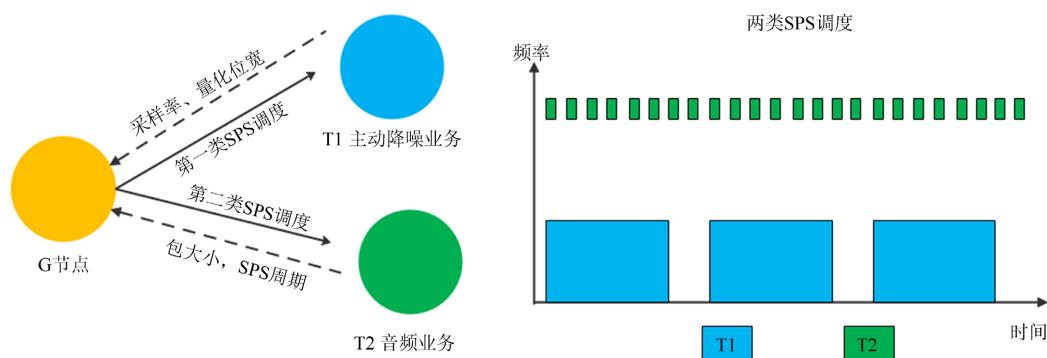


Figure 1. Schematic diagram of NearLink centralized scheduling mechanism
图 1. 星闪集中式调度机制示意图

2.2. SLB/SLE 双模接入架构

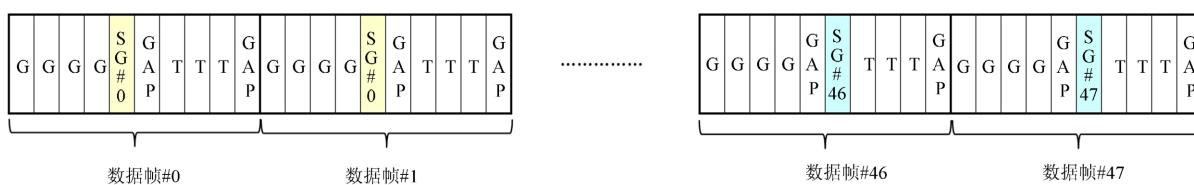
为适应不同应用场景的需求，星闪在接入层设计了由基础模式(SparkLink Basic, SLB)和低功耗模式(SparkLink Low Energy, SLE) [4]组成的双模体系，如图 2 所示。SLB 模式采用宽带传输，支持更高阶的调制编码方案，主要面向车载信息娱乐、高清投屏等高速率、低时延业务。SLE 模式则针对物联网传感器、可穿戴设备等场景进行了功耗优化，可在保证稳定连接的同时，实现与蓝牙相近的能耗水平。这两种模式共享统一的协议栈，使得星闪能够灵活覆盖从高速率到低功耗的多种应用领域。



Figure 2. NearLink protocol stack and SLB/SLE dual-mode architecture
图 2. 星闪协议栈及 SLB/SLE 双模架构

2.3. 物理层关键技术

在物理层(PHY)设计上，星闪采用了多项关键技术以保障其确定性性能。它基于 CP-OFDM (Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 波形，将时间域划分为 1 ms 的超帧，每个超帧包含 48 个无线帧，从而实现了 20.833 μs 的无线帧长，如图 3 所示[5]。这种精细的时间域结构是其达成微秒级空口时延的物理基础。在信道编码方面，星闪对不同业务采用不同编码策略。对时延和可靠性要求高的小包数据，采用 Polar 码或 R-S 码(Reed-Solomon code)以应对随机干扰和突发干扰；对大包/高流量数据，则采用高性能 Polar 编码。此外，星闪在物理层集成了混合自动重传请求(Hybrid Automatic Repeat reQuest, HARQ)机制。相较于传统的链路层 ARQ (Automatic Repeat reQuest)，HARQ 能够利用软信息合并，实现更快的错误纠正和更高的频谱效率，从而在低信噪比条件下保障 99.999% 以上的传输成功率[6]。

**Figure 3.** Schematic diagram of the NearLink ultra-short frame structure**图 3. 星闪超短帧结构示意图**

2.4. 核心性能指标

根据星闪联盟的技术评估报告与产业实测数据[6]，星闪在带宽利用率、时延、并发连接与抗干扰能力方面具备一定优势，其主要参数如表 1 所示。

Table 1. NearLink 1.0 technical performance summary**表 1. 星闪 1.0 空口技术性能总结**

项目	性能
峰值速率	20 MHz 单载波 G 链路峰值 920 Mbps (8 × 8 MIMO) 20 MHz 单载波 T 链路峰值 460 Mbps (4 × 4 MIMO)
时延	单向传输时延小于 20 μs
高可靠	块传输正确率大于 99.999%
抗干扰	RS 信道编码和 Polar 信道编码，支持 CBG 混合重传，最小工作信噪比 -5 dB
同步	同步精度小于 1 μs
多业务并发	单载波 35 路实时音频流并发，1 ms 内 80 路数据传输并发

综上所述，星闪的技术体系通过集中式调度、双模架构、超短帧结构以及物理层 HARQ 等关键技术的协同作用，在系统层面构建了确定性通信的能力。它并非旨在简单地提升峰值速率，而是聚焦于解决现有无线技术在多用户、高干扰环境下时延抖动大、可靠性不足的核心痛点，为工业自动化、智能汽车协同控制等需要精密同步和稳定交互的场景提供了技术解决方案。

2.5. 星闪与其他无线技术的对比分析

为明确星闪技术的定位，我们将其与蓝牙、Wi-Fi 6、LoRa、UWB 及 ZigBee 等主流无线技术性能参数进行比较[6]-[10]，比较结果如表 2 所示。

Table 2. Comparison of performance parameters of mainstream wireless communication technologies**表 2. 主流无线通信技术性能参数对比**

	频段	最大速率	通信距离	可靠性	时延	功耗
星闪 1.0	2.4/5 GHz	12 Mbps (SLE)/920 Mbps (SLB)	0.2~4 km	高	<20 μs	低
蓝牙 6.0	2.4 GHz	2 Mbps	10~100 m	低	>1 ms	低
WIFI6	2.4/5 GHz	9.6 Gbps	10~300 m	低	>1 ms	高
LoRa	433 MHz	300 kbps	2~8 km	中	较长	中
UWB	6489.5 MHz	6.8 Mbps	10~30 m	高	<1 ms	中
ZigBee	2.4 GHz	250 kbps	400~800 m	中	较长	中

根据上表 2 的对比，我们可以清晰地看到星闪技术的核心优势所在：

(1) 低时延与高可靠性。星闪技术的核心特点体现在其小于 $20\ \mu\text{s}$ 的空口时延和高于 99.999% 的可靠性上。相比之下，基于竞争机制的 Wi-Fi 与蓝牙，其时延通常为毫秒级别且不提供确定性保障。这一数量级的差异，使星闪能够满足工业自动化、车载协同控制等对通信同步精度有较高要求的场景。

(2) 性能均衡。星闪并非仅追求单一性能指标，而是在多个维度上寻求平衡。其 SLE 模式在维持与蓝牙同等级别低功耗的同时，提供了更高的峰值速率(12 Mbps vs. 2M bps)。其 SLB 模式则在时延和可靠性优于 Wi-Fi 6 的前提下，提供了可观的峰值速率(最大 920 Mbps)。这种在时延、可靠性、速率和功耗四个关键维度上的系统性设计，构成了其技术特点。

(3) 应用场景定位。对比分析表明，现有无线技术各有其最佳应用场景。例如，LoRa 与 ZigBee 专注于低速率、远距离物联网连接，而 UWB 则聚焦于高精度测距。星闪通过其性能组合，定位于由传统技术留下的高性能确定性通信市场。其目标并非完全替代 Wi-Fi 或蓝牙，而是为了满足对连接质量要求更高的新兴应用场景。

3. 技术发展历程与产业进展

3.1. 技术发展历程

星闪技术最早由华为在 2020 年的技术研讨会上提出。2020 年 9 月 22 日，国际星闪联盟成立。2021 年，相关通信框架的原型验证完成。2022 年 11 月 4 日，星闪联盟发布了其首个商用产品路标[11]。联盟联合了芯片、模组和终端厂商共同进行标准化工作，其中包括中科晶上、创耀科技、瑞芯微、海思、移远通信等成员。

联盟于 2022 年发布了 NearLink 1.0 标准，该标准定义了 SLE(低功耗)与 SLB(高速宽带)双模接入架构，并确立了 G/T 节点的集中管理机制。2024 年 3 月 30 日，星闪 2.0 系列标准正式公布。随后，中国通信标准化协会(CCSA)对《星闪车载空口技术要求》和《星闪物联网通信接口规范》等系列标准进行了立项，星闪的发展例程如图 4 所示[12]。截至 2025 年，星闪联盟的成员数量已超过 1000 家，生态系统覆盖了芯片、模组、整机、操作系统及应用终端等领域。

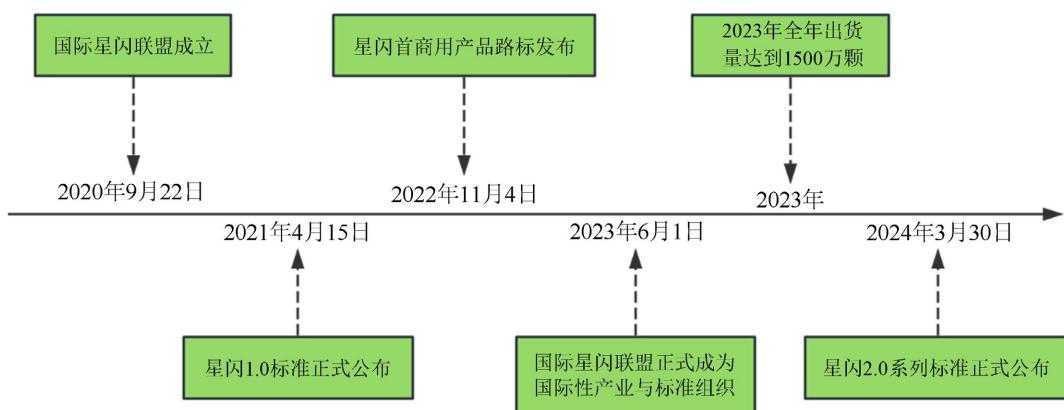


Figure 4. NearLink development routine timeline
图 4. 星闪发展例程时间轴

3.2. 芯片与硬件进展

星闪的产业链已涵盖从射频前端到系统芯片的多个环节。相关芯片产品包括：

(1) 海思 Hi3861LV100：一款 2.4 GHz 低功耗 SoC Wi-Fi 芯片，支持 20 MHz 标准带宽及 5 MHz/10

MHz 窄带宽，物理层速率最高可达 72.2 Mbit/s [13]。

- (2) 创耀科技 TR5312：一款 2.4 GHz SoC 芯片，支持星闪 SLE 1.0 和蓝牙 BLE 5.4 双模[14]。
- (3) 中科晶上 DX-T600：一款集成了星闪 SLB 基带和射频电路的 SoC 芯片，适用于无线投屏、智能电视、家庭影院及智能汽车等应用场景[15]。

根据星闪联盟的数据，截至 2025 年中，星闪芯片的累计出货量已超过 8500 万片，并预计在 2025 年底超过 1 亿片。

3.3. 产业应用与生态构建

星闪技术的应用已拓展至消费电子、车载通信、工业控制、智能家居和医疗健康等领域。

- (1) 消费电子。星闪技术已应用于部分品牌的智能手机、耳机、平板电脑及键鼠等外设中。例如，在支持星闪的耳机如华为 FreeBuds Pro3 和无线鼠标中，该技术被用于降低音频传输和设备响应的时延[16]。华为 FreeBuds Pro3 星闪耳机如图 5 所示。



Figure 5. FreeBuds Pro3 with NearLink
图 5. 搭载星闪的 FreeBuds Pro3

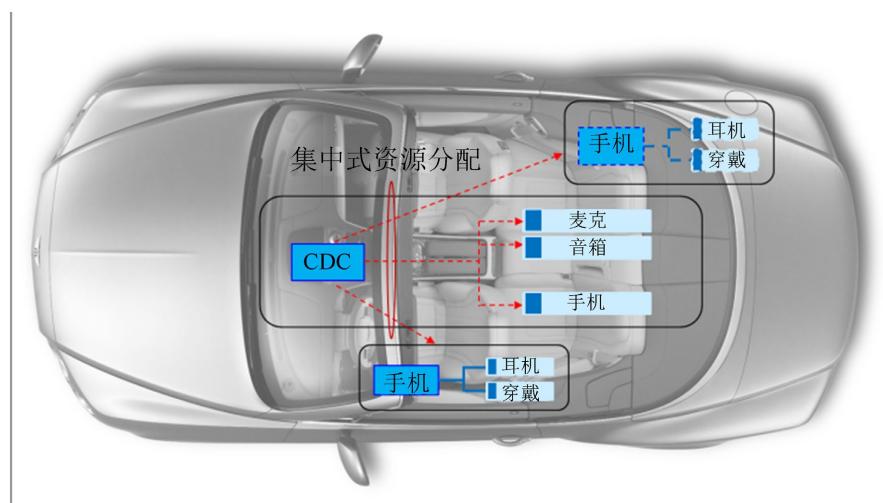


Figure 6. Schematic diagram of NearLink communication for in-vehicle equipment
图 6. 车内设备星闪通信示意图

(2) 汽车电子与车联网。车载通信是星闪技术的重点应用方向之一。目前已有星闪数字车钥匙的商用案例，可支持厘米级测距和毫秒级解锁响应[17]。在车内通信方面，星闪被用于车载娱乐系统的音视频传输、座舱多屏交互、主动降噪以及车内总线的无线化探索，如图6所示[6]。

(3) 工业控制与制造。在工业自动化领域，星闪凭借其高可靠性($>99.999\%$)和微秒级时延同步能力，被用于实现PLC控制器、机械臂与传感器间的闭环控制，如图7所示。部分制造企业已部署了基于星闪的无线控制原型系统，以验证其在AGV(Automated Guided Vehicle)调度、视觉检测和数据采集等应用中的稳定性[6]。

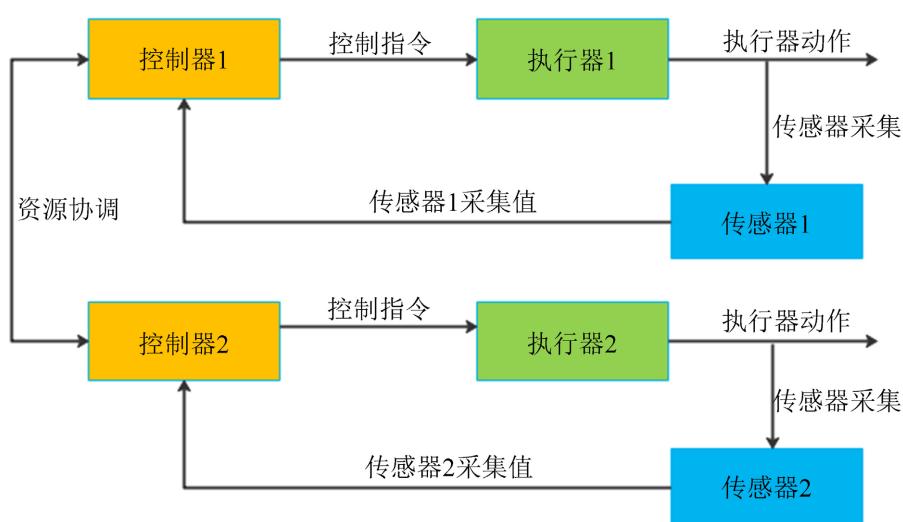


Figure 7. Industrial sensor NearLink control diagram
图 7. 工业传感器星闪控制示意图

(4) 智能家居与物联网。星闪技术与鸿蒙系统进行了集成，应用于智能家居生态，支持上百台设备的并发组网，如图8所示。其SLE模式的低功耗特性适用于门窗传感器、智能插座等设备。同时，星闪支持上百台设备的并发组网，为全屋智能场景提供了通信基础。



Figure 8. NearLink home appliance interconnection
图 8. 星闪家电设备互联

(5) 医疗与健康监测。在医疗健康领域, 星闪为可穿戴监测设备(如心电监测仪、睡眠监测带)提供了通信方案。相较于传统方案, 星闪在多设备协同时具有较低的丢包率, 适用于医院床旁监护系统和家庭远程医疗等环境, 如图 9 所示[18]。

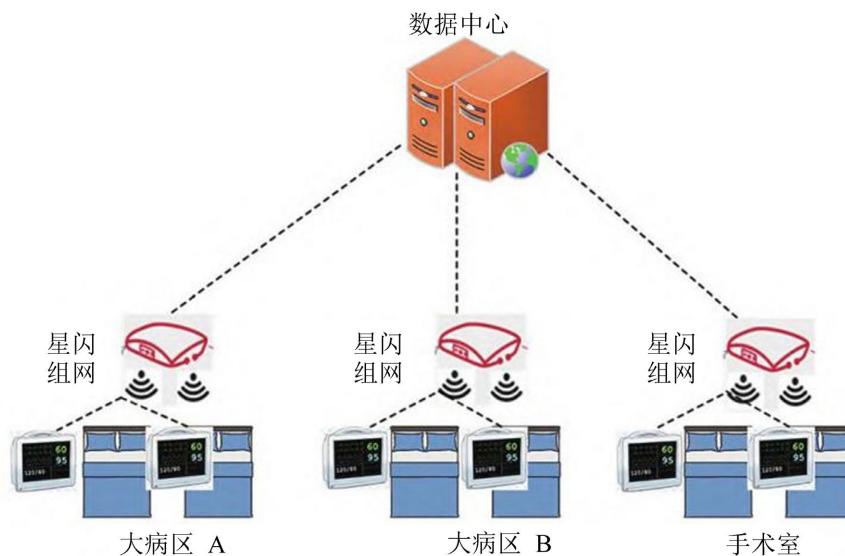


Figure 9. Schematic diagram of hospital NearLink communication deployment
图 9. 医院星闪通信部署示意图

4. 应用前景与挑战

4.1. 技术演进趋势

- (1) 性能优化。未来的星闪技术可能会引入 AI 协同算法, 以实现更高的频谱利用效率和自适应调度机制, 例如通过多天线智能波束成形、信道预测等技术来进一步降低时延并提高能效。
- (2) 标准融合。星闪技术有与 TSN (Time-Sensitive Networking)等确定性通信技术融合的趋势, 以期形成统一的“无线确定性网络架构”。在工业领域, 星闪可作为 TSN 的无线延伸, 为无线工厂提供端到端的时钟同步与流量调度能力。
- (3) 多模共存。未来的智能终端预计将支持星闪、Wi-Fi、蓝牙、UWB 等多种通信模式共存。星闪联盟正在推动标准的开放性, 计划通过通用接入框架实现与现有协议的共存互通。

4.2. 面临的挑战

尽管星闪技术展现出一定的潜力, 但其大规模普及仍需应对以下挑战:

- (1) 国际标准化进程。目前星闪主要由国内厂商主导, 需要进一步推动国际化合作与标准认证, 以获得更广泛的全球生态支持。
- (2) 功耗与成本。高性能架构通常会带来芯片复杂度的提升, 未来需要在功耗优化与成本控制之间取得平衡。
- (3) 兼容性与生态互通。如何在不影响现有 Wi-Fi/BLE 应用生态的前提下, 实现软硬件层面的互通, 是星闪生态建设中的一个重要课题[19]。
- (4) 安全与隐私。星闪的高带宽和多设备特性也带来了更复杂的网络攻击面, 后续版本需要强化协议层的安全防护与身份认证体系。

4.3. 未来展望

星闪技术通过确定性调度与跨层优化，在低时延、高可靠性和多设备协同方面提供了新的解决方案。在产业层面，星闪有望与鸿蒙系统结合，共同构建物联网通信体系，并在工业控制、车联网、AR/VR 等领域得到应用。然而，星闪能否成为全球主流标准之一，将取决于其在开放性、兼容性和产业协同方面的进展。若能有效解决功耗、成本与国际化等问题，星闪有潜力成为“确定性无线通信”领域的一个代表性标准[20]。

5. 总结

本文对旨在解决传统无线通信“确定性鸿沟”的新一代星闪技术进行了系统性综述。研究表明，星闪并非现有技术的增量优化，而是通过集中式调度、SLB/SLE 双模接入及先进物理层等系统性重构，在空口时延($<20 \mu\text{s}$)与传输可靠性(>99.999%)等关键指标上实现了性能提升。目前，该技术已从标准制定阶段进入规模化商用阶段，在智能汽车、工业控制及消费电子等领域展现出应用价值。

综上所述，星闪技术以其确定性通信能力，填补了现有市场的技术空白，为未来要求高实时性、高协同性的智能化场景提供了关键技术基础。尽管其在国际化与成本控制方面仍面临挑战，但该技术的发展标志着短距无线通信正从“尽力而为”向“稳定可靠”的模式演进。

参考文献

- [1] Ancans, A., Ormanis, J., Cacurs, R., Greitans, M., Saoutieff, E., Faucorr, A., et al. (2019) Bluetooth Low Energy Throughput in Densely Deployed Radio Environment. 2019 23rd International Conference Electronics, Palanga, 17-19 June 2019, 1-5.
- [2] 乔冠华, 黄中华, 张胜, 等. 基于跨层优化的确定性无人集群网络协议研究[J/OL]. 重庆理工大学学报(自然科学): 1-9. https://lib.cqwu.edu.cn/articlesearch/web_searchingDetail?id=2031620129578, 2025-10-16.
- [3] 陶长龙. 基于星闪技术的医用气体工程监测系统设计与研究[J]. 医用气体工程, 2025, 5(1): 1-3, 11.
- [4] 金杰, 高杨, 李明昊, 等. 星闪低功耗物理层技术及其在双链路三模通用遥控器中的应用[J]. 广播与电视技术, 2024, 51(9): 19-23.
- [5] 花敏, 吴玉寒, 张一晋. 星闪技术物理层信号研究[J]. 移动通信, 2025, 49(5): 113-120.
- [6] 国际星闪联盟. 星闪 1.0 空口技术性能评估报告[EB/OL]. <https://sparklink.org.cn/star/paper>, 2021-04-15.
- [7] 蓝牙技术联盟. 蓝牙技术概述[EB/OL]. <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification/>, 2025-10-16.
- [8] Wi-Fi 联盟. Wi-Fi®(MAC/PHY) [EB/OL]. <https://www.wi-fi.org/zh-hans/wi-fi-macphy>, 2025-10-16.
- [9] Semtech: What Is LoRa®? <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [10] FiRa: UWB Technology Comparison. <https://www.firaconsortium.org/discover/comparison>
- [11] 龚乐中, 庄跃迁, 唐霄汉, 等. 星闪在特种行业中的应用研究[J]. 现代传输, 2025(4): 75-79.
- [12] 国际星闪联盟. 联盟简介[EB/OL]. <https://sparklink.org.cn/lol>, 2025-10-16.
- [13] 海思官网. Hi3861LV100 [EB/OL]. <https://www.hisilicon.com/cn/products/connectivity/short-range-IoT/wifi-nearlink-ble/Hi3861LV100>, 2025-10-16.
- [14] 创耀科技. SLE 系列-TR5312 [EB/OL]. <https://www.triductor.com/product-4.html>, 2025-10-16.
- [15] 中科晶上. DX-T600 星闪短距离通信芯片[EB/OL]. <http://www.sylincom.com/product/2>, 2025-10-16.
- [16] 林斐. 元年之后, 消费电子领域星闪快速升温[N]. IT 时报, 2024-08-16(012).
- [17] 银基科技银基三端软硬一体数字钥匙[J]. 汽车观察, 2025, 20(3): 121.
- [18] 周钰, 祝新意, 王文明. 基于星闪技术的医院监护仪应用探索[J]. 中国医疗设备, 2025, 40(5): 79-85.
- [19] 彭程, 孙博. 速度革命 VS 落地“鸿沟” Wi-Fi7 的产业机遇和普及挑战[J]. 通信世界, 2025(14): 18-20.
- [20] 张俊杰, 路宽一, 张洋, 等. 星闪技术在智能化油田建设中的应用展望[J]. 石油化工应用, 2024, 43(11): 15-17, 34.