

面向 5G 的定位技术在消防安全中的应用

吴文斌

武昌经济技术开发区消防大队，湖北省武汉市，430061；

摘要：随着第五代无线通信技术（5G）的发展与部署，应用于消防安全中的相关技术也随之更新迭代，本文探讨了第五代无线通信技术（5G）在消防安全领域的应用，重点分析了 5G 网络的核心技术，包括毫米波通信、超密集网络、大规模多输入多输出（MIMO）技术以及设备对设备（D2D）通信，并讨论了这些技术如何为定位技术带来革新。5G 定位技术以其高定位精度、低时延、快速率、大容量和支持多种接入技术等优势，为火灾实时监测、人员实时监控、应急通信和指挥调度提供了强有力的技术支持。

关键词：线通信技术；消防安全；5G 定位技术

DOI: 10.64216/3104-9680.25.01.003

引言

随着城市化进程加速，火灾等安全事故频发，对人民生命财产安全构成威胁。传统消防安全措施存在响应慢、定位不准、信息共享不畅等问题。第五代无线通信技术（5G）的高速率、大容量、低时延和高可靠性特性，为提高消防安全管理效率和效果提供了新途径。5G 的核心技术，如毫米波通信、超密集网络、大规模 MIMO 技术及设备对设备（D2D）通信，为提高定位精度、优化通信效率和增强系统可靠性提供了技术基础。定位技术在消防安全中至关重要，能帮助应急人员快速响应和准确定位火源及被困人员。面向 5G 的定位技术，以其高精度、低时延优势，有望显著提升消防安全管理水平。

1 第五代移动通信技术的核心架构

1.1 毫米波

毫米波是指波长在 1~10 mm（频率在 30~300 GHz）的电磁波，由于 6GHz 以下的频谱已经十分拥挤，通信频段逐渐拓展到了空闲的毫米波频段，相较于 5G 之前的通信技术，毫米波具有更高的频率、更短的波长以及大的带宽，因此在实际应用中具有以下几点特点：

（1）高频处带宽大，传输速率快：根据香农公式，数据的传输速率峰值与信道的带宽成正比，也就是说带宽越大，传输的速率越快，能达到 100Mbps 的传输速率，能支持多种实际工程应用。

（2）能耗低：因为毫米波的波长短使得采用的集成电路和天线的尺寸减小，从而降低了能耗，这也有利于大量基站的建设。

（3）损耗大：毫米波的波长更短，使得其具有更高的路径损耗、更高的穿透损耗、严重的大气吸收和更大的降雨衰减，在毫米波传播过程中衰减地更快，若传输距离过远，难以探测到毫米波信号，但密集的基站部署和波束成形技术能有效解决这一问题。

1.2 超密集网络（Ultra-Dense Network, UDN）

超密集网络（Ultra-dense network, UDN）是指在大蜂窝基站覆盖范围内高密度部署小蜂窝基站的一种网络架构，从而提高网络容量和性能，小基站构成的小区之间互相重叠，形成蜂窝拓扑结构，它具有几种特点：

（1）密集部署：UDN 通过在宏基站覆盖区域内密集部署小基站，增加基站的密度。这种密集部署可以提高网络容量和覆盖范围。

（2）大容量和频谱效率：UDN 利用小基站的部署密度和空间复用技术，提高网络的容量和频谱效率。通过增加基站数量和更好地利用频谱资源，UDN 能够支持更多用户和大量数据传输。

（3）空间和频谱复用：UDN 通过将小基站叠加在宏基站上，实现空间和频谱的复用。这种复用方式能够提高频谱利用率，并减少干扰，从而改善网络性能。

（4）灵活性和弹性：UDN 的部署可以根据需求进行灵活调整。小基站可以根据用户密集区域或数据需求的变化进行快速部署和重定位，以提供更好的服务质量和网络覆盖。

1.3 大规模多输入多输出（MIMO）技术

在第五代移动通信技术（5G）中，大规模多输入多输出技术（Massive Multiple-Input Multiple-Output，简称大规模 MIMO）指的是在通信基站中部署大量天

线，以实现数据的并行输入与输出。该技术使得大规模 MIMO 基站能够同时为众多用户终端提供服务，与毫米波技术相得益彰，通过毫米波信号的收发完成通信过程。其主要特征包括：

(1) 高容量与高频谱效率：大规模 MIMO 通过使用大量物理小型天线，实现了多个数据流的同时传输与接收，显著提升了系统的容量与频谱效率。相较于传统系统，大规模 MIMO 能够在相同的频谱资源条件下，提供更高的数据传输速率，以满足无线通信领域日益增长的需求。

(2) 抗干扰能力与优质服务：大规模 MIMO 系统利用众多天线进行波束成形，能够精确地定位和追踪用户信号，有效减少多径干扰和外部干扰对通信质量的影响。这使得大规模 MIMO 能够提供更强的抗干扰能力与优质服务，确保用户在不同位置均能获得稳定且高质量的通信连接。

(3) 能量效率与辐射功率控制：大规模 MIMO 通过波束成形和信号传输优化，实现了信号能量向目标用户的更集中传输，从而提升了能量效率。此外，该技术还允许根据实际需求调整天线阵列的辐射功率，以降低整体辐射功率水平，减少对环境及人体的电磁辐射影响。

1.4 设备对设备通信技术

设备对设备 (Device-to-Device, D2D) 通信技术，亦称为直接设备间通信技术，其核心在于实现移动设备在不依赖基站中继的情况下，直接进行数据交换。简言之，D2D 技术通过建立无线连接，使得移动设备能够直接交换数据和信息。该技术的主要特征可概括为：

(1) 直接通信特性：D2D 通信技术允许设备间直接进行信息交换，无需基站作为中介。此特性为数据传输提供了速度更快、效率更高的途径，有效降低了传输时延并缓解了网络拥堵问题。

(2) 频谱共享与资源优化利用：D2D 通信技术能够与蜂窝网络共享频谱资源，通过优化频谱资源的使用，提升了系统的频谱效率。该频谱共享特性有助于减轻网络拥堵，增强通信容量，并且为用户提供更好的通信体验。

2 第五代移动通信技术背景下的定位技术特征

受益于 5G 毫米波技术、超密集网络、大规模多输入多输出技术、设备对设备通信技术的应用，基于 5G 的定位也具有许多的优点，可以归纳如下：

2.1 高精度定位

通过时间和角度的测量进行定位是主要的研究方向，而到达时间测量和三边定位是基站定位的主要方式，其主要通过计算信号的到达时间来估算设备与基站之间的距离，因为基站的位置是可以确定的，通过至少三个基站的位置和基站到设备的距离就可以实现设备的定位。超密集网络可以提供更多的基站和更高的信号强度覆盖，从而提高定位的准确性。大规模多输入多输出技术利用多个天线进行信号传输和接收，可以通过波束赋形和波束跟踪等技术提高信号质量和定位精度。5G 白皮书中提到基于 5G 网络的定位技术的精度在大多数场合下应小于 1 米以下，并且在室内环境中低于 1 米，可以实现亚米级精度的定位。

2.2 高传输速率、低延迟特性、大传输容量

鉴于第五代移动通信技术 (5G) 具备高速数据传输速率、低延迟以及大容量传输能力的特性，基于 5G 网络的定位技术亦继承了这些优势。该技术能够为众多用户设备提供实时且连续的定位服务，不仅能够实现对当前用户设备位置的精确感知，还能够借助算法对设备的运动轨迹进行预测。此类服务在多个实际应用场景中具有重要应用价值。例如，在交通运输领域，该技术可用于监控交通流量，以改善交通状况；在智能驾驶领域，汽车的精确实时定位对于车辆操控至关重要，若定位延迟过高，则可能导致反应不及时，从而引发安全事故。此外，通过与其他车辆的通信，该技术亦可有效避免潜在的碰撞事件，从而提升智能驾驶的安全性。

2.3 支持多种接入技术

除了 5G 网络本身的定位以外，它还支持其他的多种接入技术，如基于 wifi 的定位、基于蓝牙的定位以及基于卫星导航系统的定位等。这些定位技术可以在 5G 定位不够精确的时候进行多种技术的联合定位，如复杂的室内环境，包括商场、车库等场所，5G 定位可以与 Wi-Fi 技术结合使用，通过将 Wi-Fi 接入点的信号和特征与 5G 网络的能力相结合，可以实现更精确的定位服务。

3 应用于消防安全领域的 5G 定位技术研究

火灾是一种常见但危险的灾害，给人们的生命和财产造成巨大损失。因此，火灾检测和应急响应至关重要。随着 5G 网络和定位技术的快速发展，它们被广泛应用于实时监测、应急响应等领域。

3.1 火灾实时监测

在 5G 网络中部署多个、多种不同的传感器,用于检测火灾相关的数据,如烟雾、温度、一氧化碳浓度、现场视频等数据,这些传感器可以实时采集数据并可以在发现异常时将相关信息进行上报,火灾早期检测可以快速识别火情,使得消防部门能够及时响应,有利于快速启动疏散程序,保障人民的生命财产安全。5G 高精度的定位技术,准确的位置信息有助于救援人员快速到达火灾现场,提高救援效率,尤其是在大型或复杂结构的室内环境中。传感器的布置不仅可以检测火灾同时也有利于采取有效的应急响应与决策,通过采集火场数据以及视频信息可以动态规划疏散路线,引导人员避开危险区域。

3.2 人员实时监控

在近期的研究与应用实践中,可穿戴电子设备的应用范围持续拓展,尤其在消防安全领域,该类设备的设计取得了显著的进展。特别是,集成了生命体征监测功能的可穿戴设备,这些设备不仅能够实时追踪消防员的关键生理参数,如心率、血氧饱和度和体温等,还通过内置的定位技术,能够精确追踪消防员在火场内的准确位置。

这种集成化的监测系统,结合了生命体征与位置信息,为现场指挥员提供了全面的数据支持,使他们能够准确评估每位消防员的实时状态和可能面临的风险。5G 网络的引入,以其极低的延迟和高达 1 米以内的定位精度,进一步提升了这一系统的性能。这不仅确保了定位信息的实时性和准确性,而且使得救援团队能够依据这些精确数据,快速制定和调整救援策略。

3.3 应急通信

地震、洪水等自然灾害及其他紧急情况下,通信基础设施的损坏可能导致救援行动的严重延误。鉴于此,迅速有效的搜索与救援行动显得尤为迫切,尤其是在灾害发生后的最初 72 小时,这一时段对于挽救生命至关重要。然而,通信的中断可能对救援工作构成重大障碍。在灾害发生后,传统的通信基础设施可能会受损,无人机可以迅速部署,提供临时的通信连接,帮助恢复通信服务,无人机可以协助在没有基础设施

支持的情况下,实现设备之间的直接通信。

3.4 应急指挥调度

5G 网络在火灾应急响应中扮演着核心角色。它能够实现在火灾发生时,立即将关键信息传递给指挥中心,并迅速通知周边的消防站和联动部门,确保快速的协调和有效部署。得益于 5G 的高容量特性,火灾现场可以有多个救援团队、无人机和传感器等设备同时在线,协同作业,提高救援效率。5G 网络还促进了跨部门的信息共享,包括消防、医疗、交通等部门,根据火灾发生的位置,就近调派救援力量、及时调整交通信号等。此外,5G 网络的实时定位跟踪功能,允许消防车辆和消防人员配备的 GPS 设备将位置信息实时发送至指挥中心,使指挥中心能够实时监控并根据位置信息合理调度资源,从而提高整个应急响应的准确性和效率。

4 结语

本文深入分析了 5G 网络的核心技术及其在消防安全领域的应用前景。5G 技术以其高速率、低时延、大容量和高精度定位等特点,为消防安全带来了革命性的改进。通过实时监测火灾、精确定位人员、保障应急通信和优化指挥调度,5G 技术显著提升了应急响应的效率和准确性。随着 5G 技术的进一步成熟和普及,我们有理由相信,它将在消防安全领域发挥更加关键的作用。未来,5G 技术有望与物联网、人工智能等其他先进技术融合,形成更加智能和高效的消防安全解决方案,为构建安全、智能的社会环境做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 崔雁松,李志菁. 通信原理[M]. 北京师范大学出版社,2012.
- [2] 刘鋆. 面向 5G 大规模天线的角度定位技术[D]. 北京邮电大学,2020.
- [3] 汪韬涵,郝辉,周圩颖,等. 消防人员生命体征检测系统设计[J]. 物联网技术,2023,13(09):26-28.
- [4] 裴梓权. 消防员生命体征监测系统的设计与实现[D]. 南京信息工程大学,2023.