

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)01-0123-04

基于 Mesh 无线网格技术的无障碍应急指挥通信方法

安向阳, 游上院, 纪岫男, 邓涛

(广东电网有限责任公司茂名供电局, 广东 茂名 525000)

摘要: 由于应急指挥通信中信道资源杂乱且资源量庞大, 在设计无障碍应急指挥通信方法时, 通常会出现信道资源分配不合理导致通信过程中的数据误码率较高。对此, 现提出基于 Mesh 无线网格技术的无障碍应急指挥通信方法。先对现有的通信内容进行编码处理, 并设计数据封装格式, 在 Mesh 无线网格技术的作用下, 筛选出数据传输的最佳路径, 由此设计通信协议, 通过构建信道资源模型, 计算信道资源的利用率、优先级权重系数, 实现对信道资源的合理分配, 再计算通信过程的稳定函数, 制定无障碍应急指挥通信方案。通过上述的设计, 完成对无障碍应急指挥通信方法的设计。在实验测试中, 设计的基于 Mesh 无线网格技术的无障碍应急指挥通信方法在实际应用中误码率较低, 通信质量较高。

关键词: Mesh 无线网格技术; 无障碍应急指挥; 应急通信; 通信方法; 方法设计

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)01-0123-04

Barrier free emergency command and communication method based on Mesh wireless grid technology

AN Xiangyang, YOU Shangyuan, JI Xiunan, DENG Tao

(Maoming Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Maoming 525000, Guangdong, China)

Abstract: Due to the chaotic and massive channel resources in emergency command communication, when designing barrier free emergency command communication methods, there is often an unreasonable allocation of channel resources, resulting in a high data error rate during the communication process. A barrier free emergency command and communication method based on Mesh wireless grid technology is proposed. Firstly, the existing communication content is encoded and processed, and a data encapsulation format is designed. With the help of Mesh wireless grid technology, the optimal path for data transmission is selected. Based on this, a communication protocol is designed. By constructing a channel resource model, the utilization rate and priority weight coefficients of channel resources are calculated to achieve reasonable allocation of channel resources. Then, the stability function of the communication process is calculated, and an accessible emergency command communication plan is formulated. Through the above design, it completes the design of an accessible emergency command and communication method. In experimental testing, the designed barrier free emergency command communication method based on Mesh wireless grid technology has a low bit error rate and high communication quality in practical applications.

Keywords: Mesh wireless grid technology; accessible emergency command; emergency communication; communication methods; method design

通信技术作为现代社会运转的重要基石, 其重要性日益凸显。特别是在应对突发事件和灾害时, 快速、稳定、无障碍的通信方式对于保障人民生命财产安全、维护社会稳定具有不可替代的作用^[1]。因此, 研究一种新型的无障碍应急指挥通信方法, 对于提升我国应急管理能力、保障国家安全具有重要意义。

在上述背景下, 国内外不少研究学者对此展开了研究。朱利勘查现场, 明确救援和通信需求, 构建消防应急通信指挥体系, 整合通信资源, 建立信息共享平台, 实现实时信息更新^[2]。但通信设备在恶劣环境下稳定性受影响。

于海洋设计分布式网络结构, 分析 Mesh 节点功能, 结合应急通信特点设计通信协议和算法, 实现数据安全稳定传输^[3]。但易受无线信号传播影响, 通信距离不足, 通信效果不佳。肖奎等确定应急通信覆盖范围和容量, 设计相控阵天线及参数, 利用编码技术设计算法和协议以满足通信需求^[4]。但该方法易受恶劣天气影响, 天线指向不稳定, 影响通信效果。张迅豪利用蓝牙 Mesh 技术设计通信网络, 制定合适的通信协议和路由算法, 通过节点间的音频编解码实现图像和数据的快速传输, 满足应急通信需求^[5]。然而, 该网络节点数量无法无限制地增长, 导致覆

收稿日期: 2024-04-26; 录用日期: 2024-05-14

基金项目: 中国南方电网科技项目基金资助(030900KK52220005)

作者简介: 安向阳(1982—), 男, 研究生, 高级工程师, 研究方向: 安全管理、应急管理。

引用本文: 安向阳, 游上院, 纪岫男, 等. 基于 Mesh 无线网格技术的无障碍应急指挥通信方法[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(1): 123-127. (AN Xiangyang, YOU Shangyuan, JI Xiunan, et al. Barrier free emergency command and communication method based on Mesh wireless grid technology[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(1): 123-127.)

盖范围有限,实际通信效果不佳。

Mesh 无线网络技术具有动态性和不断扩展的网络架构特点,使得任意两个设备都可以保持无线互联,能够更有效地分配和利用信道资源。因此,为了提高信道资源分配效果,降低通信过程中的数据误码率,本文设计了基于 Mesh 无线网络技术的优势,设计一种无障碍应急指挥通信方法,旨在实现一种能够在复杂环境下快速部署、自组织、高效稳定的应急指挥通信系统。

1 无障碍应急指挥通信方法设计

1.1 无线网络技术的通信协议设计

在应急通信过程中,由于通信设备被破坏的程度无法确定,应急通信的容量需求也无法预测,加上建立的通信时间和地点存在较强的随机性,由此形成了一种较为复杂的通信环境^[6]。因此,在设计应急指挥通信方法时,需要设计相应的通信协议,保证通信的顺畅。在本文的设计中,利用 Mesh 无线网络技术,设计对应的通信协议,提高通信效率和通信可靠性。

Mesh 无线网络技术作为一种发展已久的无线网络技术,能够通过无线网络实现多跳互联,从而有效扩大网络覆盖范围,提高网络容量和可靠性^[7]。利用 Mesh 无线网络技术设计无障碍应急指挥通信协议时,需要明确通信需求,先对通信内容进行编码处理。其编码过程为

$$\begin{cases} a = \frac{1}{\sqrt{g}} \sum_{k=0}^{g-1} e^{\frac{2\pi i k d}{g}} \\ Q_c' = a \times Q_c \end{cases} \quad (1)$$

式中, a 表示编码系数, g 表示数据以编码形式的发送次数, d 表示 Mesh 网络的节点分支, c 表示节点编码的参数, p 表示编码级数, Q_c' 表示通信数据的编码结果, Q_c 表示原始的通信数据。上述公式将现有的通信数据进行编码,根据编码结果,设计数据封装格式。数据封装格式包括帧结构和字段定义,这些结构的确定,保证数据在 Mesh 网络中的有效传输^[8]。其设计的数据封装格式如表 1 所示。

表 1 数据封装格式

Tab. 1 Data encapsulation format

名称	字节数	说明
固定帧起始标志	1	0x68
数据单元标识	1	0
数据单元序号	4	从 0 开始,每次传输增加一次
协议信息	1	取值范围 0-7
载荷长度	2	数据帧的总数据长度
数据长度	1	通信数据的序列长度
通信数据	n	具体的通信数据类型
子设备编号	1	从 1 开始编号,没有子设备时编号为 0
数据帧起始帧标志	1	0x68
功能码	1	标识的通信数据传输方向和数据类别,
附加信息	1	数据传输过程中的优先级控制

在上述表 1 中,确定了通信数据传输过程中的格式,由此确保数据传输的安全性。在传输的过程中,为尽量降

低数据传输的成本,需要设计合适的路由算法^[9]。在设计路由算法时,考虑到数据传输过程中各个节点的动态性、网络结构的复杂性,需要利用 Mesh 无线网络技术,从中筛选出最优的传输路径。在 Mesh 无线网络技术的作用下,获得的最佳传输路径为

$$\begin{cases} t_z = \sum_{z=1}^Z \frac{T_z}{K_z} \times Q_c' \\ L_t = \min \left(\beta t_z + \lambda \sqrt{\frac{\sum_{z=1}^Z (K_z - \sum_{z=1}^Z K_z Z)^2}{Z}} \right) \end{cases} \quad (2)$$

式中, t_z 表示通信数据在不同节点之间的传输时间, T_z 表示不同节点之间的距离, K_z 表示当前数据的传输速率, L_t 表示利用 Mesh 无线网络技术筛选出的最佳传输路径, β 表示数据的传输系数, λ 表示 Mesh 无线网络技术的频宽, Z 表示数据需要传输的节点数量。在本次研究中,利用 Mesh 无线网络技术,筛选出数据传输时的最佳路径,并对数据进行编码,设计对应的数据封装格式,由此得到对应的无障碍应急指挥通信协议^[10]。至此,完成通信信道基于 Mesh 无线网络技术的通信协议的设计。

1.2 无障碍应急指挥模型构建

在上述设计的基础上,利用设计的通信协议,构建无障碍应急指挥通信信道模型,明确现有的信道资源^[11]。其构建的无障碍应急指挥通信信道模型公式为

$$H_b = \sqrt{\frac{G}{G+1}} H_L + \sqrt{\frac{1}{G+1}} H_N \quad (3)$$

式中, H_b 表示构建的通信信道模型, G 表示通信信道资源调配参数, H_L 表示已分配的信号资源, H_N 表示动态的信道资源。利用上述公式,对现有信道资源的具体情况进行了解和分析,在此基础上,对信道资源进行分配。在分配过程中,需要考虑多方面的因素,如信道资源的利用率、优先级权重系数等,从而保证信息资源分配的合理性和及时性^[12]。其具体分配过程为

$$\begin{cases} K_c = \frac{H_c \times t_c}{L_c} \times H_b \\ P_c = \frac{H_t}{L_t} \times 100\% \\ \beta_c = \gamma_c \times \rho_c \times \sigma_c \end{cases} \quad (4)$$

式中, K_c 表示当前通信需求所需要的信道数量, H_c 表示通信需求量, t_c 表示信道的使用时间, L_c 表示通信信道的带宽, P_c 表示信道利用率, H_t 表示实际的通信量, L_t 表示信道的总带宽, β_c 表示信道优先级权重系数, γ_c 表示通信需求的重要性系数, ρ_c 表示通信需求的紧急性系数, σ_c 表示当前通信需求与其他通信需求的相关性系数。通过计算所需的信道数量、信道资源的利用率以及信道的优先级权重系数,对通信需求进行合理分配,让其在最优传输路径上,选择最为合适的通信信道,确保通信效率,提高通信及时性^[13]。至此,无障碍应急指挥通信信道分配的设计完成。

1.3 路径选择和信道分配优化

在上述基础上,结合筛选的数据传输最优路径,以及合理的信道分配策略,制定无障碍应急指挥通信方案。其制定的方案如图1所示。

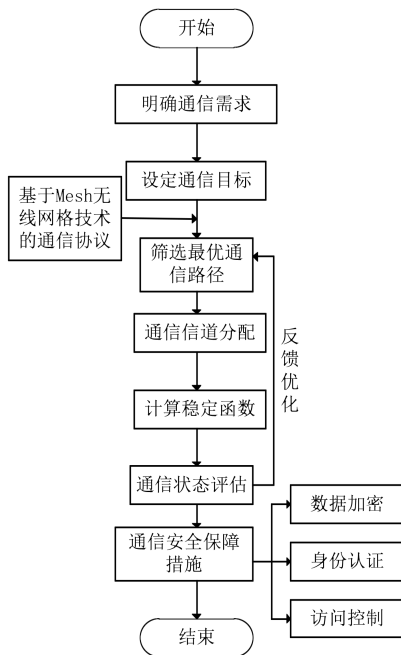


图1 无障碍应急指挥通信方案

Fig. 1 Barrier free emergency command communication scheme

如图1所示,在制定通信方案时,先明确应急现场的通信需求,合理设定对应的通信目标,根据上述设计的通信协议,筛选出最优的通信路径,根据现有的信道资源,对通信信道进行分配^[14]。在上述基础上,计算通信过程中的稳定函数,对当前的通信状态进行评估,提高数据通信过程中的稳定性。根据上述通信结果,制定通信安全保障措施,如数据加密、身份认证、访问控制等,确保通信的安全性^[15]。在过程中,通信过程中的稳定函数具体计算过程为

$$q(t) = \sum_{i=1}^{N_i} r_i(t) \xi(t - \chi_i(t)) \quad (5)$$

式中, $q(t)$ 表示计算的稳定函数, $r_i(t)$ 表示在 t 时刻下的通信信号起始点, $\xi(\cdot)$ 表示数据传输的阶跃函数, $\chi_i(t)$ 表示通信路径的偏移量, N_i 表示通信数据的数量。利用上述公式,对当前通信情况进行评估,由此实现对通信路径选择和通信信道分配的优化。

至此,基于 Mesh 无线网络技术的无障碍应急指挥通信方法的设计完成。

2 实验测试

2.1 实验准备

为验证本文设计的通信方法在实际应用中的效果,进行实验测试。由于暴雨的影响,某市有多栋倒塌的建筑物、断裂的道路等,且当地的通信基站受到损坏,通信线路大多断裂,电力供应也出现了中断。为此,在本次试验中,模拟某市的灾

区情况,利用本文的 Mesh 无线网络技术,构建一个覆盖广泛的无线网络。其具体部署结果如图2所示。

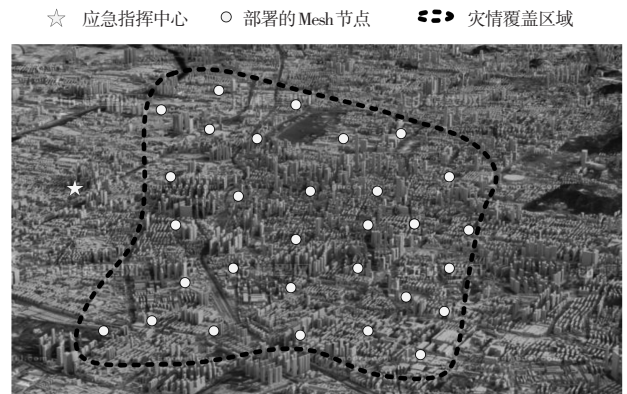


图2 某市的灾区网络节点的部署情况

Fig. 2 Deployment of network nodes in disaster areas of a certain city

如图1所示,图1中的虚线圈定区域为灾情覆盖区域,星状图案为应急指挥中心,被设置在建立灾区不远地方,确保救援物资能够快速送达。圆点为部署的 Mesh 节点,多个节点的联合使用,能够搭建起一张通信网,保证灾区信息的快速传达。

本次实验中,为保证上述节点之间的信息能够互通互达,需要设计对应的实验参数。其实验参数的具体设置结果如表2所示。

表2 实验参数

Tab. 2 Experimental parameters

序号	通信参数	参数设置
1	Mesh 节点数量	40 个
2	通信频段	2.4~6.0 GHz
3	通信频宽	0~50 MHz
4	通信延迟时间	10 ms
5	通信功率	10~100 MW
6	覆盖范围	半径 ≥ 5 km
7	数据传输速率	≥ 1 Mbps

在上表中,上述实验参数能够满足本次实验中的无障碍应急指挥通信,以便尽快制定对应的通信方案。

实验中,为实现对信道资源的有效分配,需要对现有的信道资源进行了解。现有的信道资源具体如表3所示。

在上表中,上述为某市通信网络中现有的通信资源,利用本文设计的方法对信道资源进行分配,确保信道资源分配的合理。

此外,在验证时,设计对比实验,提高实验结果的真实性。以本文设计的方法为方法1,大范围洪涝灾害救援现场消防应急通信指挥方法为方法2,相控阵动中通卫星天线在应急通信中的应用为方法3。

2.2 实验结果讨论

实验中,以数据丢包率为评价指标,分别对三种方法的通信效果进行评估。在评估过程中,利用三种方法在实验中进行模拟通信,并统计通信结果的丢包率。其具体统计结果如图3所示。

表3 现有的信道资源

Tab. 3 Existing channel resources

信道编号	频段/ GHz	带宽/ MHz	可用时间 隙数	最大传输 速率/Mbps	当前占用 率/%
信道 1	2.4	20	15	10	45
信道 2	5.8	40	20	20	30
信道 3	2.4	10	10	5	60
信道 4	5.2	30	12	8	50
信道 5	3.6	25	18	12	40
信道 6	5.1	15	8	4	75
信道 7	2.4	5	5	2.5	80
信道 8	4.9	35	17	15	25
信道 9	5.7	45	22	25	35
信道 10	2.4	15	10	7.5	55

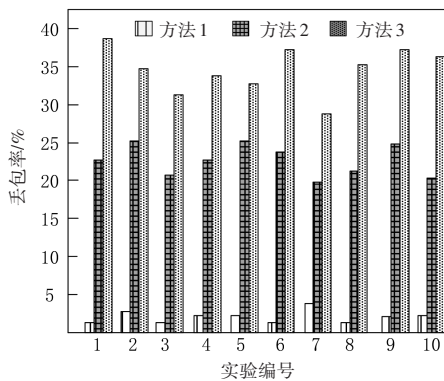


图3 三种方法的通信结果

Fig. 3 Communication results of three methods

如图3所示,在上述应急通信过程中,使用方法1进行通信后,通信数据的丢包率均在5%以下,将其应用在某市的灾区通信中,能够保证信息的及时性和准确性。与之相比,方法2和方法3的丢包率较高,导致接收方难以收到较为准确的通信信息。因此,本文设计的方法在实际应用中的通信质量较高。

在上述实验结果的基础上,以误码率为评价指标,对比三种方法的通信性能。其具体的统计结果如表4所示。

表4 三种方法的通信结果

Tab. 4 Communication results of three methods

通信次数	三种方法的误码率/%		
	方法1	方法2	方法3
1	2.44	10.23	22.41
2	2.69	11.25	23.15
3	3.26	12.36	23.26
4	2.88	11.44	24.15
5	2.65	10.56	23.25
6	2.69	14.75	22.15
7	3.02	12.06	20.58
8	3.44	13.25	23.65
9	3.25	14.05	22.54
10	3.26	12.36	24.15
11	4.01	13.21	25.12
12	4.23	13.25	26.23
13	3.99	14.02	24.15
14	3.84	14.26	23.69
5	3.65	13.25	25.15

在表4中,经过多次通信,可以看出,方法1的误码率较低,每次通信过程中的误码率均在5%以下,方法2和方法3的误码率较高,且存在较大差距。因此,本文设计的方法在实际应用中通信质量较高。

3 结论

在探讨基于 Mesh 无线网络技术的无障碍应急指挥通信方法时,深入分析了其技术特性、应用场景及潜在优势。Mesh 无线网络技术以其独特的自组织、自修复特性,在应急指挥通信中展现出极高的稳定性和灵活性。它不仅能够实现广泛的信号覆盖,确保信息的实时传输,还能在复杂环境中保持通信的连续性和可靠性。此外,无障碍应急指挥通信方法的应用,不仅提升了救援行动的效率,还为保障人民生命财产安全提供了强有力的技术支撑。这种通信方法不仅体现了科技在应对突发事件中的重要作用,也展示了无线通信技术发展的广阔前景。

参考文献

- [1]陈振龙. 基于5G的无人机智能组网的应急通信技术开发及应用[J]. 数字技术与应用, 2023, 41(1):34-36.
- [2]朱利. 大范围洪涝灾害救援现场消防应急通信指挥方法探讨[J]. 中国消防, 2022, 12(S1):76-78.
- [3]于海洋. 简析无线 mesh 自组网在应急通信中的应用[J]. 网络安全技术与应用, 2024, 23(2):64-66.
- [4]肖奎, 刘啸, 魏会超, 等. 相控阵空中通卫星天线在应急通信中的应用[J]. 长江信息通信, 2023, 36(12):187-190.
- [5]张迅豪. 蓝牙 Mesh 无线网络网络技术在消防应急通信安全中的应用[J]. 网络安全和信息化, 2023, 14(10):131-133.
- [6]高振恒, 李红岩. 基于6G的应急通信组网技术和网络架构[J]. 长江信息通信, 2023, 36(9):32-34, 39.
- [7]蒋鸿兴. 基于无线 Mesh 网络的建筑物内消防应急通信组网技术分析[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(11):189-192.
- [8]李晨鑫, 张立亚, 刘斌, 等. 基于5G直连通信的矿井应急通信技术[J]. 煤矿安全, 2023, 54(2):212-216.
- [9]孙红雨, 宋娇, 刘霞, 等. 无线网状网络路由协议在矿山应急通信中的应用研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(2):429-439.
- [10]刘瑞环, 陈晨, 叶志刚, 等. 基于无人机应急通信的配电网灾后信息物理协同恢复策略[J]. 电网技术, 2023, 47(3):1218-1230.
- [11]魏纵横, 张昊, 崔曼曼, 等. 基于树莓派和 LoRa 的独居老人应急通信系统[J]. 广东技术师范大学学报, 2022, 43(6):1-8.
- [12]彭艺, 彭游, 杨青青, 等. 面向植被覆盖山区的无人机应急通信信道建模[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2023, 35(1):8-15.
- [13]钟剑峰, 王红军. 适用于无人机集群应急通信系统分簇路由协议[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(2):56-66.
- [14]叶清琳, 刘玲, 翟晓晓. 基于北斗的交通路网应急通信协同指挥系统设计[J]. 无线电工程, 2022, 52(3):515-521.
- [15]梁云杰, 韩林. 极端条件下地铁应急通信保障的思考与对策[J]. 消防科学与技术, 2022, 41(12):1720-1723.