

信息科学与工程系列专著

基于无线自组网的 应急通信技术

Emergency Communication Technologies Based on
Wireless Self-organizing Network

王海涛 张学平 陈晖 宋丽华 张国敏 等著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

信息科学与工程系列专著

基于无线自组网的 应急通信技术

Emergency Communication Technologies
Based on Wireless Self-organizing Network

王海涛 张学平 陈 晖 宋丽华 张国敏 等著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

应急通信是为应对自然灾害或公共突发事件而提供的特殊通信机制和手段。本书以突发紧急事件下应急通信网络组织和服务保障为研究重点,在系统阐述应急通信保障现状和传统应急通信技术手段的基础上,深入探讨了基于无线自组网的应急通信系统构建所涉及的一系列关键技术问题,内容涵盖了应急通信的基本概念、发展研究现状、网络架构、关键技术和应用,其中关键技术主要包括:异构网络融合互通,网络生存性增强技术,多业务流 QoS 支持技术,网络管理和安全,网络认知与协同,以及网络性能测量和评价方法等。

本书具有一定的前瞻性,并注重实际应用,适合准备和已经从事应急通信及相关领域工作的科技人员阅读,可为各级政府应急指挥部门、运营商和设备制造商选择、部署或开发应急通信系统提供参考,也可作为高校通信及相关专业高年级本科生和研究生的教材或参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

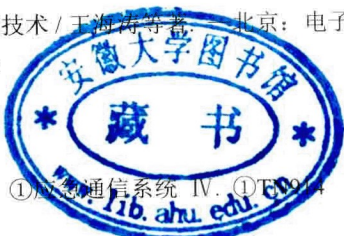
图书在版编目(CIP)数据

基于无线自组网的应急通信技术 / 王海铸等著. — 北京: 电子工业出版社, 2015.8
(信息科学与工程系列专著)

ISBN 978-7-121-26828-1

I. ①基… II. ①王… III. ①无线通信系统 IV. ①T991.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 174281 号



责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn) 特约编辑: 王沈平

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.25 字数: 620 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版

印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 2 500 册 定价: 79.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

我国地处环太平洋和北半球中纬度两条灾害带的交汇处，是灾害多发、灾害面广、灾害损失严重的国家之一。20 世纪 90 年代以来，我国年均受灾人口在 2 亿人次以上。在出现自然灾害、突发事件等各类紧急情况时，通信是实施抢险救援与对外联络极其重要的一环；政府和人民群众对通信的依赖程度显著高于平时，需要利用各类通信手段迅速通报险情、指挥救援、实施紧急援助等；快速响应、稳定可靠和全面高效的应急通信系统无疑成为降低灾害损失的一项决定性因素。即使在通信和信息技术高度发达的今天，在灾难面前，现有的应急通信保障措施也显得力不从心。近年来，特别是 2008 年以来我国相继发生了南方冰冻雨雪灾害、四川汶川大地震、舟曲泥石流和玉树地震等特大自然灾害，并且先后成功举办了举世瞩目的北京奥运会和上海世博会，这些突发自然灾害和重大事件使应急通信再度成为人们关注的焦点。面对这些重大突发事件，如何构建能实现平时和灾时结合的可靠、高效、安全的应急通信网络，成为迫切需要解决的问题。从某种意义上讲，有效应对重大突发事件的能力已成为社会现代化和国家综合实力的一个重要标志，直接关系到国家的政治稳定 and 经济发展。

大量事实表明，在突如其来的大型自然灾害和公共事件面前，常规的通信手段往往无法满足应急通信需求。应急通信正是针对这种特殊的通信需求而提出的，目的是在应急突发情况下有效利用各种通信资源和技术手段来及时发布通告、保证相关人员迅速准确获取和传递信息，协调各类用户群体的行动以及进行统一的指挥调度等，以便最大限度地降低灾难损失、维护社会稳定和辅助灾后重建。所以，必须探索和建立各种有效的、形式多样的应急通信保障措施和防灾、救灾预案，以便在各类紧急情况和自然灾害面前及时提供有效的通信保障。与西方发达国家相比，我国的应急通信技术手段相对落后。当前，国内应急通信主要依托现有通信设施（包括公共通信网和公众传媒网）并在基础设施受损或不能满足通信需求时借助卫星、短波和专用集群通信系统来提供应急通信保障。应急通信具有时间突发性、地点不确定性、业务紧急性、信息多样性和过程短暂性等显著特点，而传统的通信系统在设计和实现时并没有对这些特点予以充分考虑。应急通信的上述特点要求能够快速部署应急通信网络，为各类用户及时提供多样化的、满足各自需求的通信服务，对特定区域进行实时监控，对紧急突发事件做出快速响应，并能有效协调各种救援力量实施抢险救灾和灾后重建。目前国内的应急通信系统功能单一，且依赖基础通信设施，自组织能力和顽存性较低，难以进行网络管理和提供多业务流 QoS 支持。举例来说，公众通信网不可靠，且在应急通信情况下容易过载而变得不可用；集群通信系统能够在紧急突发场合下快速建立呼叫，并支持组呼、广播呼叫和补充业务，但其覆盖范围和通信容量较小，通常仅限于指挥调度应用并且仍依赖基础通信设施；卫星通信较健壮、覆盖范围广，但是传输能力有限，部署和使用成本高且技术支持困难。应急通信保障涉及防灾预警、网络组织、资源配置、通信支持、指挥调度等多方面的问题，现阶段包括卫星和集群通信系统在内的应急通信系统已不能满足复杂多样的应急环境下为各类用户群体提供快速、可靠、健壮的通信服务保障的要求，必须引入新的技术手段和方法。

随着信息技术的发展，近年来出现了一系列可供应急通信选择的新型技术手段，尤其是以 Ad hoc 网络为代表的无线自组网技术。无线自组网是无线（移动）通信和计算机网络融合发展的产物，其特点是网络无中心、自组织、多跳传输，具有灵活、易部署和自配置的优点，非常适合组建应急通信网络来协调各类人员展开救援行动和应对突发事件；而现有的

公众通信网络在突发危机面前发挥的作用很有限，特别是不能满足重大自然灾害和突发公共事件出现时对应急通信服务的要求。因此，借鉴发达国家在应急通信保障方面取得的经验和科技成果，并结合我国国情和通信现状，针对应急通信网络的特点和应急通信的特殊要求，在依托传统通信手段的基础上充分利用无线自组网技术，制定有效结合无基础设施网络和基础设施网络的应急通信网络组织和保障体系是十分必要的，也是完全可行的。

本书正是在上述背景需求下酝酿编著的，希望运用包括无线自组网在内的多种最新技术成果来支持应急通信网络的快速组建和有效维护，增强应急通信网络的适应性和应用效能，以便在复杂多样的应急环境下为不同用户群体提供各自所需的通信服务。

本书的主要著者长期从事计算机网络、移动通信、系统评估和人工智能等方面的研究工作，在网络体系结构、分布式计算、网络管理、网络协议开发和性能分析领域积累了大量经验。他们从 2001 年起开始对无线自组网技术进行了广泛深入的研究，尤其是在网络体系结构、分簇算法、跨层设计方法和 QoS 保障等方面取得了一些研究成果。本书的内容材料经过精心选取和构思，从理论与实践相结合的角度，先介绍应急通信网络基础知识，再系统阐述以无线自组网为代表的应急通信网络新技术。全书分为 10 章。其中，第 1 章介绍应急通信的概念和特点，对应急通信的各种场景进行分类比较，并阐述国内外应急通信的研究现状以及我国应急通信保障所面临的问题；第 2 章对应急通信已有研究成果进行深入调研，介绍应急通信网络技术选型，归纳应急通信技术热点和难点；第 3 章对无线自组网技术进行系统介绍，并举例说明无线自组网在应急通信中的应用；第 4 章探讨多种无线自组网之间以及无线自组网和现有网络基础设施的内在联系和有机融合，充分利用无线自组网技术设计融合多种通信网络的异构应急通信网络体系架构，包括物理网络结构和逻辑分层结构，并介绍应急通信网络的入网管理机制和应急响应模型；第 5~9 章对应急通信网络的组织和维护以及业务开展中所涉及的若干关键技术问题进行全面深入的阐述，并设计和实现相关网络协议和算法来解决异构网络融合互通、可生存的通信模式、多业务流 QoS 支持、网络安全和管理以及网络认知与协同等技术难题，包括：互联网关发现和网络选择机制、网络冗余控制、可生存路由协议、高效的信息传输模式、信息摆渡机制、网络安全技术、QoS 体系结构、业务流分类和优先级处理机制、网络资源管理、QoS 路由、拥塞控制机制、认知网络和协同通信技术等；第 10 章针对异构应急通信网络的特点制定全面、客观的性能评价指标体系，并基于该指标体系利用计算机仿真平台，在各种网络条件下对应急通信网络的效能进行定量评价。

本书是集体智慧的结晶。解放军理工大学的王海涛副教授负责全书内容的组织和主干章节的撰写，张学平教授、陈晖教授、宋丽华副教授以及张国敏讲师、张祯松讲师和朱震宇讲师负责部分章节的编写工作；李建洲、朱世才、陈磊、闫力、刘彦涵、张焕青、高晓睿和许尹颖也参与了部分内容的讨论和编写，并且绘制了书中部分插图。在本书的编写和出版过程中，解放军理工大学训练部的领导和同事给予了许多支持和帮助，电子工业出版社相关编辑付出了辛勤的劳动。此外，本书的部分研究成果得到了国家自然科学基金项目（编号为 61072043）、军队 2110 工程三期建设项目和解放军理工大学预研基金的支持，本书部分章节的内容引用了应急通信和信息网络领域相关学者的研究成果。在此，向所有为本书的出版做出贡献的人们表示真诚的感谢！

应急通信保障技术涉及多个学科知识领域，新的技术和方法不断涌现，新的思想和应用层出不穷，而且至今仍有大量技术问题未得到圆满解决，很多技术标准化工作还在进行当中，加之著者水平有限，时间紧、任务急，书中错误、疏漏在所难免，敬请读者批评指正。

著者

2015 年 1 月 8 日

目 录

第 1 章 应急通信概述	(1)
1.1 应急通信的相关概念和内涵	(1)
1.1.1 突发事件	(1)
1.1.2 应急通信	(2)
1.1.3 灾备通信	(3)
1.1.4 应急指挥	(4)
1.1.5 应急联动	(4)
1.1.6 公众通信与应急通信的关系	(5)
1.2 应急通信的特点	(6)
1.3 应急通信的分类和分级	(7)
1.3.1 应急通信场景的分类与比较	(7)
1.3.2 应急通信的分类与分级	(8)
1.4 应急通信的需求分析	(9)
1.4.1 不同应急突发情况下的通信需求	(9)
1.4.2 不同应急时间阶段的通信需求	(10)
1.4.3 不同应急用户的通信需求	(11)
1.4.4 不同应急事件级别的通信需求	(13)
1.5 应急通信系统的功能及提供的业务	(14)
1.6 应急通信的国内外发展应用现状	(15)
1.6.1 国外应急通信发展动态	(15)
1.6.2 国内应急通信发展概况	(17)
1.6.3 应急通信发展趋势	(19)
1.7 我国应急通信保障面临的问题和解决对策	(20)
1.7.1 存在的问题	(20)
1.7.2 解决对策	(21)
1.8 本章小结	(22)
第 2 章 应急通信保障方式和技术手段分析	(23)
2.1 应急通信保障的基本概念	(23)
2.2 应急通信保障体系	(24)
2.2.1 应急通信保障的指导思想和总体目标	(24)
2.2.2 应急通信保障体系总体架构	(25)
2.2.3 应急通信保障管理体系	(27)

2.2.4	应急通信技术体系	(30)
2.2.5	应急通信标准体系	(33)
2.3	传统应急通信技术	(35)
2.3.1	基于公共固定通信网的应急通信	(36)
2.3.2	卫星通信	(37)
2.3.3	无线集群通信	(38)
2.3.4	公众移动通信网络	(40)
2.3.5	短波和微波应急通信	(41)
2.3.6	业余无线电通信	(42)
2.3.7	无线广播和互联网	(42)
2.4	新型应急通信技术	(43)
2.4.1	遥感与定位技术	(43)
2.4.2	号码携带	(44)
2.4.3	应急通信车	(45)
2.4.4	空中通信平台	(47)
2.4.5	基于 NGN 的应急通信	(48)
2.4.6	无线宽带专网	(49)
2.4.7	基于 WiMAX 的应急通信	(51)
2.4.8	基于无线自组网的应急通信	(53)
2.4.9	认知无线电和认知网络	(53)
2.4.10	其他应急通信新技术	(54)
2.5	应急通信网络的组成和技术选型	(57)
2.5.1	应急通信网络的组成	(57)
2.5.2	应急通信保障中的技术选型	(57)
2.5.3	面向不同用户对象的通信手段	(59)
2.6	应急通信的技术热点和技术难点	(60)
2.6.1	应急通信的技术热点	(60)
2.6.2	应急通信的技术难点	(62)
2.7	应急通信保障实施建议	(62)
2.8	本章小结	(65)
第 3 章	无线自组网及其在应急通信中的应用	(66)
3.1	前言	(66)
3.2	Ad hoc 网络	(67)
3.2.1	提出背景	(67)
3.2.2	基本概念和特点	(68)
3.2.3	Ad hoc 网络的体系结构	(69)
3.2.4	Ad hoc 网络的主要研究内容	(71)
3.3	无线传感网	(76)

3.3.1	基本概念	(76)
3.3.2	WSN 的应用目标与特征	(77)
3.3.3	无线传感网的体系结构	(78)
3.3.4	无线传感网的设计	(82)
3.4	无线 Mesh 网络	(84)
3.4.1	基本概念	(84)
3.4.2	研究和应用现状	(85)
3.4.3	相关技术标准	(85)
3.4.4	技术特点	(87)
3.4.5	网络结构	(88)
3.4.6	关键技术分析	(89)
3.5	无线自组网在应急通信中的应用	(91)
3.5.1	Ad hoc 网络在应急通信中的应用	(91)
3.5.2	无线传感网在应急通信中的应用	(93)
3.5.3	无线 Mesh 网络在应急通信中的应用	(95)
3.5.4	基于无线自组网的综合应急通信应用	(97)
3.6	本章小结	(98)
第 4 章	基于无线自组网的应急通信网络体系架构	(99)
4.1	引言	(99)
4.2	应急通信网络的构建要求	(99)
4.3	一体化异构应急通信网络体系框架设计	(101)
4.3.1	设计原则和目标	(101)
4.3.2	异构应急通信网络的分层框架和通用协议栈	(101)
4.3.3	系统体系结构	(103)
4.3.4	物理网络结构	(105)
4.3.5	组织和部署方案	(106)
4.3.6	入网过程与管理	(109)
4.3.7	结合无线自组网和蜂窝网络的混合式组网	(111)
4.3.8	网络特点和优势分析	(113)
4.4	基于 RBAC 的应急响应模型研究	(113)
4.4.1	需求背景	(113)
4.4.2	应急响应的一般模型	(114)
4.4.3	基于 RBAC 的应急响应模型	(115)
4.4.4	约束条件分析	(118)
第 5 章	支持应急通信的异构网络融合技术	(120)
5.1	背景需求	(120)
5.2	研究发展现状	(122)

5.3	技术问题分析	(123)
5.3.1	移动性管理	(123)
5.3.2	无线资源管理	(125)
5.3.3	呼叫接入控制	(126)
5.3.4	异构网络选择	(127)
5.3.5	端到端 QoS 保证	(127)
5.3.6	安全问题	(128)
5.4	异构网络互连原理与策略	(129)
5.4.1	异构网络互连的基本概念和原理	(129)
5.4.2	异构网络互连策略	(130)
5.4.3	异构网络互连实现方法	(132)
5.5	支持异构网络互连的应急通信网络结构设计	(135)
5.5.1	设计目的	(135)
5.5.2	设计方案	(135)
5.5.3	其他考虑	(137)
5.6	无线自组网与其他网络的互连方案	(137)
5.6.1	网络互连的需求和形式	(137)
5.6.2	网络互连解决方案	(139)
5.7	一种基于用户等级和负载均衡的多属性网络选择算法	(143)
5.7.1	算法提出背景	(143)
5.7.2	基于 AHP 和 TOPSIS 的网络选择	(144)
5.7.3	仿真分析	(147)
5.8	本章小结	(149)
第 6 章	应急通信网络的生存性增强技术	(150)
6.1	引言	(150)
6.2	网络生存性研究状况分析	(151)
6.3	应急通信网络生存性增强策略与方法	(153)
6.3.1	生存性增强策略	(153)
6.3.2	生存性增强技术和方法	(154)
6.4	高生存性异构应急通信网络的构建	(159)
6.4.1	应急通信网络的生存性特点和需求	(159)
6.4.2	高生存异构应急通信网络的设计	(161)
6.4.3	提高应急通信网络可生存性的若干措施	(165)
6.5	应急通信网络的信息传输模式	(167)
6.5.1	信息共享方式和传输模型	(167)
6.5.2	基于角色的路由和选择性扩散	(168)
6.5.3	基于短消息服务的位置路由	(170)

6.6	应急通信网络中的信息摆渡机制	(171)
6.6.1	背景需求	(171)
6.6.2	相关工作说明	(172)
6.6.3	基于网络分簇的信息摆渡机制	(172)
6.7	无线自组网中基于概率估计的冗余控制算法	(177)
6.7.1	相关工作	(177)
6.7.2	算法设计目标和思想	(178)
6.7.3	PERCA 算法描述	(178)
6.7.4	仿真验证	(180)
6.8	无线自组网中能耗均衡的分簇路由协议	(181)
6.8.1	相关工作分析	(181)
6.8.2	EBCRP 协议的设计	(183)
6.8.3	仿真实验分析	(185)
6.9	应急通信中基于簇的 WSN 生存性路由协议	(186)
6.9.1	动机和目的	(186)
6.9.2	网络模型	(186)
6.9.3	协议的工作流程	(187)
6.9.4	仿真与结果分析	(190)
6.10	本章小结	(193)
第 7 章	应急通信网络的多业务流 QoS 支持技术	(194)
7.1	基本概念和服务要求	(194)
7.1.1	QoS 的定义和特征	(194)
7.1.2	服务需求	(195)
7.2	相关研究现状	(195)
7.3	协议栈各层的 QoS 保障机制	(197)
7.3.1	无线信道预测机制	(197)
7.3.2	支持 QoS 的 MAC 协议	(198)
7.3.3	QoS 路由	(199)
7.3.4	无线自组网的传输层协议	(201)
7.3.5	应用层自适应机制	(202)
7.4	无线自组网的跨层 QoS 体系结构	(203)
7.4.1	背景需求和设计理念	(203)
7.4.2	实施跨层 QoS 保障的策略和方法	(204)
7.4.3	基于跨层设计的 QoS 体系结构	(206)
7.5	无线自组网的拥塞控制机制	(208)
7.5.1	问题和挑战	(208)
7.5.2	研究发展现状分析	(208)
7.5.3	新的研究思路和方法	(209)

7.5.4	研究目标、技术问题和解决方案	(211)
7.5.5	无线自组网中的简单跨层流控机制	(213)
7.6	应急通信中业务流的判定、分类及识别	(215)
7.6.1	业务流的判定	(215)
7.6.2	业务流的分类和分级	(216)
7.6.3	业务流的识别	(218)
7.7	基于业务优先级的自适应带宽分配方案及性能分析	(220)
7.7.1	问题的提出	(220)
7.7.2	方案描述和系统建模	(220)
7.7.3	系统仿真及性能分析	(222)
7.7.4	带宽分配方案的进一步讨论	(224)
7.8	基于业务分类和代价期望的分簇 QoS 路由协议	(226)
7.8.1	协议设计方法	(226)
7.8.2	协议工作流程	(228)
7.8.3	仿真实验分析	(229)
7.9	本章小结	(231)
第 8 章	应急通信网络的管理和安全技术	(232)
8.1	网络管理技术概述	(232)
8.1.1	基本概念和相关标准	(232)
8.1.2	基于 Web 的网络管理	(233)
8.1.3	基于策略的网络管理	(234)
8.1.4	自治网络管理	(235)
8.2	应急通信网络的规划和管理	(236)
8.2.1	应急通信网络管理的特点和要求	(236)
8.2.2	应急通信网络的规划	(237)
8.2.3	应急通信网络的监控和管理	(237)
8.2.4	无线自组网的管理	(238)
8.3	移动性管理	(241)
8.3.1	概述	(241)
8.3.2	位置管理	(241)
8.3.3	网络层移动性管理	(243)
8.3.4	移动切换	(247)
8.3.5	无线自组网的移动性管理	(248)
8.4	无线资源管理	(250)
8.4.1	基本概念和目标	(250)
8.4.2	无线资源管理的研究内容	(250)
8.4.3	移动通信系统的无线资源管理	(252)
8.4.4	无线自组网的资源管理	(253)

8.4.5	异构无线网络的可重配置资源管理	(258)
8.5	无线自组网的安全威胁与应对策略	(260)
8.5.1	无线自组网的安全问题	(260)
8.5.2	无线自组网面临的安全威胁和攻击	(260)
8.5.3	网络安全策略	(261)
8.5.4	网络安全机制	(262)
8.5.5	基于入侵容忍的安全防护体系	(269)
8.6	无线自组网中的信任模型与信任建立机制	(270)
8.6.1	基本概念和背景需求	(270)
8.6.2	信任模型	(270)
8.6.3	信任建立机制	(271)
8.6.4	信任辅助的安全路由	(273)
8.6.5	信任关系面临的攻击及其防护措施	(273)
8.7	基于可信网络的 WSN 分级信任管理方案	(274)
8.7.1	设计思想	(274)
8.7.2	节点的属性、角色和可信级别	(274)
8.7.3	分簇过程	(275)
8.7.4	身份认证和密钥分发	(276)
8.7.5	WSN 可信路由机制	(278)
8.7.6	可信保障和安全性分析	(279)
8.8	本章小结	(280)
第 9 章	应急通信网络的认知与协同通信技术	(281)
9.1	认知无线电技术	(281)
9.1.1	提出背景	(281)
9.1.2	基本概念和工作原理	(282)
9.1.3	研究现状和应用发展趋势	(283)
9.1.4	认知无线电的关键技术	(286)
9.1.5	认知无线电规则	(289)
9.2	认知网络技术	(290)
9.2.1	提出背景	(290)
9.2.2	定义和内涵	(290)
9.2.3	目标和要求	(291)
9.2.4	研究现状和发展应用	(291)
9.2.5	认知网络的工作模式和资源管理	(292)
9.2.6	认知网络的设计和实现框架	(294)
9.2.7	认知网络的关键技术	(296)
9.3	环境感知网络和情境意识服务	(298)
9.3.1	背景需求	(298)

9.3.2	情境意识服务平台	(299)
9.3.3	环境感知网络体系结构	(300)
9.3.4	关键技术分析	(301)
9.3.5	应用分析	(302)
9.4	具有认知能力的应急通信系统的构建	(303)
9.4.1	需求背景	(303)
9.4.2	设计理念	(305)
9.4.3	认知应急通信系统的构建	(305)
9.4.4	应用场景分析	(309)
9.5	协同通信技术	(310)
9.5.1	背景需求	(311)
9.5.2	操作方式和工作原理	(312)
9.5.3	关键技术问题	(313)
9.5.4	协同认知技术	(314)
9.6	网络编码技术	(316)
9.6.1	基本概念	(316)
9.6.2	发展简史	(316)
9.6.3	工作原理和操作过程	(317)
9.6.4	网络编码的显著特点	(318)
9.6.5	关键技术问题	(319)
9.6.6	网络编码的应用	(320)
9.7	激励协作机制	(321)
9.7.1	问题的提出	(321)
9.7.2	相关研究概述	(322)
9.7.3	激励协作机制的工作原理分析	(324)
9.7.4	分组转发策略	(326)
9.8	本章小结	(327)
第 10 章	应急通信网络的性能指标体系与评价方法	(328)
10.1	IP 网络的性能指标体系	(328)
10.1.1	标准化的网络性能指标	(328)
10.1.2	IP 网络性能评价指标体系的构建	(329)
10.2	基于无线自组网的应急通信网络的性能指标体系	(331)
10.2.1	网络关键特征说明	(331)
10.2.2	网络性能评价指标体系构建	(333)
10.3	网络测量技术	(336)
10.3.1	基本概念	(336)
10.3.2	网络测量技术和方法	(336)
10.3.3	网络性能主动测量技术	(338)

10.3.4	网络性能被动测量技术	(339)
10.3.5	无线自组网的性能测量	(340)
10.4	网络性能测量和评价系统的设计	(342)
10.4.1	系统体系结构	(342)
10.4.2	网络部署架构	(343)
10.4.3	系统功能结构	(344)
10.5	网络性能评估模型和指标权重确定方法	(346)
10.5.1	常用的评估模型和算法	(346)
10.5.2	指标权重确定方法	(347)
10.6	基于 ANP 的 WSN 可生存性指标体系的构建与分析	(351)
10.6.1	背景需求	(351)
10.6.2	可生存性指标体系的构建	(351)
10.6.3	指标体系中指标权重的确定	(352)
10.6.4	指标体系分析与验证	(356)
10.7	基于 SMP 的分簇 WSN 生存性评估模型	(357)
10.7.1	研究背景	(357)
10.7.2	生存性评估模型	(358)
10.7.3	分簇 WSN 可生存性评估	(359)
10.7.4	模型分析与验证	(361)
10.8	基于计算机模拟的异构应急通信网络生存性评价	(364)
10.8.1	需求分析	(364)
10.8.2	模拟环境目的和环境设置	(364)
10.8.3	网络连通度和覆盖度分析	(365)
10.8.4	接入概率分析	(366)
10.8.5	节点度和路由跳数分析	(368)
10.8.6	网络稳定度分析	(369)
10.8.7	实验结论	(369)
10.9	本章小结	(370)
参考文献		(371)

第 1 章 应急通信概述

当发生重大突发事件时，与能源、电力、交通等基础设施一样，通信是保障紧急救援的重要生命线。紧急情况下的通信，即应急通信已成为应急保障体系的重要组成部分。作为本书的引子，本章首先说明应急通信的基本概念和特点；然后在对应急通信的各种场景进行分类分级比较的基础上，说明应急通信中不同用户的通信需求；最后，对国内外应急通信的发展现状进行概述，并指出我国应急通信保障工作存在的不足和解决对策。

1.1 应急通信的相关概念和内涵

1.1.1 突发事件

突发事件（unexpected events 或 emergency events）是指突然发生并（很可能）造成重大人员伤亡、财产损失、生态环境破坏和严重社会危害，危及公共安全需要采取应急处置措施及时应对的紧急事件或自然灾害。突发事件可以是公共范畴的，也可以是私有范畴的。突发事件的起因可归结于自然或人为两大因素，但其发生的时间、地域、事件类型和影响程度往往难以准确预测。按照事件是否可预知，突发事件分为可预知事件和不可预知事件两大类。可预知事件主要是指大型的社会性活动，而不可预知事件包括的范围比较广。我国 2006 年初颁布的《国家突发公共事件总体预案》中，根据突发事件的发生过程、性质和机理，将不可预知的突发公共事件分成 4 大类，分别是：自然灾害，主要包括水旱灾害、气象灾害、地震灾害、地质灾害、海洋灾害、生物灾害和森林草原火灾等；事故灾难，主要包括工矿商贸等企业的各类安全事故、交通运输事故、公共设施和设备事故、环境污染和生态破坏事件等；公共卫生事件，主要包括传染病疫情、群体性不明原因疾病、食品安全和职业危害、动物疫情以及其他严重影响公众健康和生命安全的事件；社会安全事件，主要包括恐怖袭击事件、经济危机事件和涉外突发事件等。突发事件按照其性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，由高到低分为 I 级（特别重大）、II 级（重大）、III 级（较大）和 IV 级（一般）。上述各类突发公共事件往往相互交叉和关联，即某类突发公共事件可能和其他类别的事件同时发生，或引起次生、衍生事件；所以遇到突发事件应当具体分析、统筹应对。需要说明的是，突发事件的出现必将给某个特定区域造成重大影响，往往使用“事发现场”来表示这一特定区域，即在重点、特殊区域发生突发性事件，造成严重影响，需要快速处置的现场。重点、特殊区域是指在重点敏感地区、人群聚集区，以及通信手段不易覆盖的地下建筑区域，如地铁、地下停车场、体育场馆地下室、远郊山区等。

近年来突发事件频发且影响重大，对正常的经济和社会生活带来巨大冲击，甚至导致公共危机，影响社会稳定。例如，2001 年爆发的美国“9·11”恐怖袭击是迄今人类历史上最严重的恐怖袭击事件，造成 3000 余人死亡和数百亿美元的财产损失，给人们带来了挥之不去的心理阴霾，并对世界政治格局产生重大影响；2005 年 8 月下旬在美国佛罗里达州登陆的卡特里娜飓风是美国历史上破坏性最严重的一场风灾，造成包括大范围通信中断，死亡人数 1500 余人，经济损失超过 1000 亿美元；2004 年 12 月 26 日，印尼苏门答腊岛，附近海域发

生的 9 级地震引发的大海啸给该地区 13 个国家造成重大损失，通信一度中断，死亡人数达 20 万，经济损失近千亿美元。我国 2008 年年初的南方冰冻雨雪灾害为新中国成立以来所罕见，冰雪灾害造成大面积交通瘫痪、电网破坏、通信中断，直接经济损失达 1500 亿元；2008 年的“5·12”汶川特大地震，造成灾区大量公路、铁路、桥梁、隧道和通信基础设施严重损毁，交通、通信大面积中断，实属罕见的特大自然灾害，直接经济损失达到 8000 多亿元，伤亡人数达数十万人。2001 年 3 月 11 日发生在日本沿海的 9 级特大地震引发了海啸和核泄漏事件，造成数万人死亡并对该地区的生态环境造成重大破坏，经济损失高达 2 万亿元。

从这些经验教训中，人们逐步意识到必须在平时完善应急通信体系，达到应急通信保障的要求，才能在紧急关头保持政府、企业和个人之间的通信，提高各级政府处置突发公共事件的能力，减少人民生命和财产的损失。可见，重大突发事件已成为影响人民生命财产安全、社会稳定和制约社会发展的重要因素之一，及时有效应对突发公共事件已成为各国政府应急管理的首要任务。

1.1.2 应急通信

“应急通信”一词，对许多非专业人士来说可能显得陌生，但若讲到“飞鸽传书”、“烽火告急”和“鸡毛信”等人们早期常用的应急通信手段，大家就很容易理解。其实，应急就是指一种要求立即采取行动的状态，以避免事故的发生或减轻事故的后果。现代意义的应急通信（Emergency Communication），一般指在出现自然的或人为的突发性紧急情况时，包括重要节假日、重要会议等通信需求骤增时，综合利用各种通信资源，保障救援、紧急救助和必要通信所需的通信手段和方法，是一种具有暂时性的为应对自然或人为紧急情况而提供的特殊通信机制。在不同的紧急情况下应急通信的需求不同，使用的技术手段也不同。

在突如其来的重大公共突发事件面前，常规的通信手段往往无法满足通信需求。一般而言，应急通信正是为应对公共突发事件而提供的特殊通信机制和手段，目的是在应急突发情况下有效利用各种通信资源和技术手段（有线、无线、卫星和集群通信等）及时发布通告，保证相关人员迅速、准确地获悉和传递信息，协调各类用户群体的行动以及进行统一的指挥调度等，以便最大限度地降低灾难损失、维护社会稳定和辅助灾后重建。也就是说，应急通信是为应对自然或人为紧急情况而提供的特殊通信机制，目的是在通信网络设施遭受破坏、性能降级、异常高话务量或特殊通信保障任务情况下综合利用各种通信资源和通信技术手段（有线、无线、卫星、集群通信等），使应急人员无论何时何地、采用何种接入方式，尽可能利用残存和临时部署的通信资源建立通信连接，在应急情况下最大限度地保障通信畅通，从而及时报告灾情、实施紧急救援、降低灾害损失和保障灾后重建。当然，应急通信不仅针对公众，也可针对个人。例如，当个人在生命财产受到安全威胁时，可以通过拨打 110、119 和 120 等紧急特服电话向救援机构求助。

应急通信并不是一种新近出现的概念，人类早期战争的烽火传递即可视为一种应急通信形式；它也不是全新的技术手段，而是已有各种通信技术手段在紧急情况下的综合运用。应急通信不仅是单纯的技术问题，还涉及管理和社会问题，需要建立完善的应急通信管理体系、指挥协调机构和资源调度机制。应急通信的内涵将随着通信行业和技术的发展不断发展和变化，涵盖通信技术、计算机技术、网络技术、智能决策技术、指挥控制技术以及社会管理学，是一种跨学科、跨领域的技术的综合运用。首先，必须明确应急通信是公用通信网的重要组成部分，可以视为公网的延伸和补充，而不应将应急通信与公网隔离开来。其次，应急通信

既包括应急通信技术手段，也包括应急组织管理的方式方法，是技术和组织管理的统一。应急通信系统承担的任务总体包含三个方面，一是平时为公用通信网提供补充服务；二是为突发事件提供通信保障，这也是应急通信主要承担的任务职责；三是战时为作战提供支持。从应急任务的性质来分，可以分为应急服务和应急保障。应急服务主要是指为预定的重大社会、经济和外交活动提供业务支撑，而应急保障主要是为重大通信事故、突发公共事件和自然灾害提供通信保障。

应急通信的核心服务是通信保障和通信恢复。通信保障是指在发生各类紧急事件时，为政府或公众用户提供必要、及时的通信服务。例如，个人遇到紧急情况拨打 110 电话报警，地震发生后提供卫星通信实现应急指挥，利用互联网和电话网实现紧急信息传递，都属于通信保障的范畴。通信恢复是指由于发生公共安全事件或自身原因导致通信网出现问题，而需要尽快恢复通信。通信恢复更多的是通信行业内部的事情，大部分通过应急预案来实施和完成，即根据通信网络受破坏程度的不同，启动不同级别的应急预案。对于通信网来说，不同运营商都有自己的应急预案，不同机构也会针对各自的专业特点制定各自的应急预案，以保证在规定的时间内尽快恢复通信。通信保障更多的是使用卫星、短波等技术手段，用于政府机构之间的应急指挥调度；通信恢复更多的是指公众电信网的恢复，尽快给用户 提供正常的通信服务，满足公众到公众之间的慰问交流、政府到公众安抚通告的通信需要。对于大多数紧急情况，虽然都是要保障通信和恢复通信；但当发生某些特殊情况时，则可能需要抑制通信。如当发生恐怖袭击等社会安全事件时，一方面要利用应急手段保证重要通信和指挥通信；另一方面，要防止恐怖分子或其他非法分子利用通信网络进行恐怖活动或其他危害社会安全的活动，此时需要抑制部分或全部通信。

应急通信的开展可以依赖专网和公共网络。专网在应急通信中基本上用于指挥调度，例如卫星通信、微波通信、集群通信等。而公网，如固定通信网、移动通信网、互联网等，基本都用于公众报警、公众之间的慰问与交流，以及政府对公众的安抚与通知等。近年来，利用公网支持优先呼叫成为一种新的应急通信指挥调度实现方法。公网具有覆盖范围广等优点，政府应急部门可以临时调度运营商公网网络资源，通过公众通信网提供应急指挥调度，保证重要用户的优先呼叫，如美国的政府应急电信业务、无线优先业务。公网支持重要用户的优先呼叫，逐渐成为应急通信领域新的研究热点。

应急通信能力对于快速有效的应急响应至关重要，以保持 在应急救援行动中各类人员的信息联络持续畅通。应急响应（指挥）中心是应急通信系统的核心，是联系其他各级机构和人员的纽带。应急中心的选址要精心考虑，避免在灾难中遭受破坏。但是，有时往往难以保障应急中心和现场救援人员之间的通信联络在救援伊始始终畅通。为此，在应急区域附近可设立临时的应急事件指挥所，负责对应急事件的影响、损失和恢复情况进行定期评估，维护和控制通信联络，确定救援策略；制定行动计划并合理分配资源。

1.1.3 灾备通信

从理论上讲，灾害备份通信（简称灾备通信）也应属于应急通信的范畴。但是灾备通信又有其特殊性：它主要是指设计和构建通信系统时，在采用主流通信手段的同时，利用某种通信手段作为主流通信手段的备份和补充；以便当主流通信手段因某种灾害而中断时，能够使用备份手段继续保障最基本的通信需求。应急通信和灾害备份通信的共同点，在于它们都是在主流通信手段因灾害或其他原因阻断的情况下为受灾地区或单位提供临时通信联系的