



高生存性异构应急通信网络的设计与分析 *

王海涛, 张学平, 陈 晖

(解放军理工大学信息管理中心 南京 210007)

摘 要: 针对应急通信的特点和要求, 基于无线自组网构建的一种高生存性异构应急通信网络, 为应急现场提供了一种可靠、灵活的通信支撑平台。首先, 说明了异构应急通信网络的特点和生存性要求。然后, 重点对高生存性异构应急通信网络的设计进行了阐述和分析, 包括组网方式、设计策略和网络结构; 最后, 探讨了进一步提高应急通信网络可生存性的一些措施。

关键词: 应急通信; 无线自组织网络; 可生存性; 体系结构; 情景感知

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.08.017

Design and Analysis of High Survivable Heterogeneous Emergency Communication Network

Wang Haitao, Zhang Xueping, Chen Hui

(Information Management Center, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: According to characteristics and requirements of emergency communication, high survivable heterogeneous emergency communication network based on wireless self-organized network was constructed to provide a reliable and flexible communication support platform for emergency site. Firstly, traits and survivable demands of heterogeneous emergency communication network were explained. Secondly, the design of high survivable heterogeneous emergency communication network was expounded and analyzed in detail, including networking mode, design strategy and network structure. Finally, some countermeasures which could improve survivability of emergency communication network further were discussed.

Key words: emergency communication, wireless self-organized network, survivability, architecture, context awareness

1 引言

当发生地震、洪水等自然灾害或出现公共卫生、恐怖袭击等突发事件时, 往往需要在事发现场部署多种具有不同能力和特性的网络系统来保障不同用户的通信需求, 如地面传感网络、分组无线网、地面干线网、空中中继系统和卫星网络, 因此, 设计高效集成这些异构通信系统的灵活、可靠且可扩展的应急通信网络是一项极具挑战的工作。高

生存性异构应急通信网络将充分利用包括无线自组网网络在内的多种通信技术手段, 使应急指挥员和救援机构及时、准确、可靠地获取信息, 保障现场态势信息和指控信息的顺畅传递, 最大程度地发挥各种通信系统的效能。本文将探讨高生存性异构应急通信网络的设计, 旨在为应急通信场合提供一种可靠、灵活、具有较高生存性的通信支撑平台, 并通过理论分析和计算机模拟对网络的规划和节点的配置等问题进行初步研究。

* 国家自然科学基金资助项目(No.61072043)



2 异构应急通信网络的特点和要求

应急通信网络往往需要在复杂、恶劣的环境中运行,所处地理位置和气候条件多种多样,网络规模可大可小。它主要采用无线通信手段,建立迅速、机动灵活,但信号易被侦听、干扰和截获。具体来说,这种网络具有以下显著特点^[1]。

- 具有大量移动速度和处理能力不同的通信单元。
- 大量通信单元之间需要协调通信,完成应急救援任务。
- 信息传输量大、突发性强;信息类型多样且信息传输具有不对称性。

应急通信网络的目标是要能够及时在事发现场为各类用户群体提供全天候、全方位的各自所需的通信服务。因此,应急通信网络必须能够快速构建且有很强的生存能力,即具有高抗毁性、可用性、安全保密性、机动性和抗干扰性。具体而言,可生存应急通信网络应该满足以下要求^[2,3]。

(1) 抗毁顽存能力

应急通信网络是在现有通信基础设施不可用的情况下,保障现场应急救援行动顺利开展的基础,必须具备很强的抗毁和容错能力。对应急通信系统而言,可靠性比功能完备和高性能更为重要,应保证在任何时候都能提供顽健、基本的通信服务。此外,网络必须具备硬损伤和软故障后的自组织恢复能力,支持自适应路由、冗余备份和网络自愈。

(2) 机动通信和快速反应能力

应急通信系统要能够保障指挥人员可以随时随地对高度机动的救援团队进行指挥与控制。因此,要求通信设施或装备能随救援人员移动,能为救援人员遂行抢险救灾行动提供不间断的“动中通”能力。应急现场态势瞬息万变,通信业务量很大,要求通信系统具备快速响应、实时调整网络资源的能力,确保通信畅通。

(3) 协同通信和整体保障能力

应急救援行动往往需要多个部门、机构联合行动,以充分发挥各部门的优势,而这种联合行动只有通过协同通信才能有效实施。为此,必须综合利用各种通信技术手段适应复杂多变的网络环境,支持不同类型的网络系统之间的融合互通,以便在各通信单元之间无缝传输信息,实现全过程、全方位的整体通信保障。

(4) 确保信息安全

应急通信系统传输的信息往往事关重大,并且可能处在敌方势力的监视和侦听的威胁中。为防止敌方非法存取、插入、删改信息,必须对信息收发者的身份和信息完整性进行鉴别和认证;网络还应具有自动密钥分发和遥控密钥销毁等管理功能。另外,考虑到通信中可能存在的人为干扰,应急通信系统应采用猝发通信、扩频、跳频、方向性天线和波形屏蔽等技术来提高抗干扰性和抗截获能力。

(5) 自适应调节能力

应急通信网络要能适应多变的网络环境,根据人员规模和部署分布调节通信支持能力。此外,还应能够支持服务区分,保障高优先级用户和紧急的业务。

3 高生存异构应急通信网络的设计

3.1 组网方式

应急通信网包括机载/车载大功率通信设备和个人便携式小功率通信设备,车载设备和个人设备的配置数量由通信需求、应急现场区域、气候地形、电台的处理能力和传输功率及无线信道质量等因素确定。车载设备具有更大的功率和更强的处理能力,可担当骨干节点;个人设备的功率和处理能力较弱,充当普通用户节点。多个车载台可以通过有线或微波接力方式互连,构成移动干线网(MBN),个人设备可以就近接入移动干线网,并且可以相互构成用户网^[4]。另外,应急通信网具有接入蜂窝网和因特网等网络的能力。

骨干节点构成的干线网主要负责长距离的业务传输,用户网是由小范围内的用户构成的局域网,主要负责现场信息的收集、发送和接收。可生存无线自组织应急通信网络有很强的机动性,用户节点和骨干节点均可以移动,但骨干节点的平均移动速度相对较慢。为了满足用户节点的入网要求,骨干节点需根据用户节点的分布调整部署位置。因此,用户节点的分布很大程度上将决定骨干节点的位置和干线网的拓扑结构。用户节点的分布一般根据实际需要配置,在确定用户节点分布、操作区域和传输范围后就可以对骨干节点和用户节点进行合理的组网^[5]。

如果依照蜂窝网络设计应急通信网络,即用户节点和基站相连,各基站通过有线或无线链路相连。这种组网方式简化了网络的部署和管理,但是不能满足如下所述的应

急通信网络的机动性和抗毁性要求^[6]。

- 固定的大功率基站易受敌方攻击。
- 灵活多变的部队部署要求网络可以快速配置,即使一些节点遭到破坏、一些链路发生拥塞,网络仍能继续工作。
- 网络要有较好的可扩展性,以支持大量的用户。

无线自组织网络能够满足以上要求,特别适合于应急通信。在应急通信网中,存在机载通信设备、车载电台和个人手持通信终端等功率和功能相异的设备,是一种典型的异构网络。对于这种异构应急通信网络,较好的组网方式是采用分簇分级网络结构。簇头的选择容易,一般由功能较强的骨干节点充当簇头(类似可移动的基站),一个簇通常由一个骨干节点及与其直接通信的用户节点组成,簇中用户节点的数量与用户节点的发送功率、骨干节点的容量、地形、信道传播特性和用户节点的分布相关。如用户节点可以选择离其较近且负载较轻的通信车作为簇头,这样,用户节点之间的协同通信将变得非常简单。

3.2 设计策略

应急网络通常规模较大,节点的种类和数量较多,因此,可以将整个应急网络区域划分为多个应急行动区域网。每个区域网包括若干个骨干节点,并为一定范围(几千米到几十千米)的普通用户节点提供服务。距离较近的应急区域网之间可以通过地面骨干节点进行通信,当距离较远时可以借助于 UAV 或卫星进行通信^[7]。

在同构单频分级网络结构中,需要复杂的簇头选举和维护算法来构造和维护虚拟骨干网(VBN)。在异构应急无线自组织网络中,一般由处理能力和功率较强的骨干节点(如车载电台)充当簇头,而由个人可携带电台作为普通节点,并且骨干节点可以采用不同频率和功率分别与普通节点和骨干节点通信,即构成如图 1 所示的多频分级网络结构。

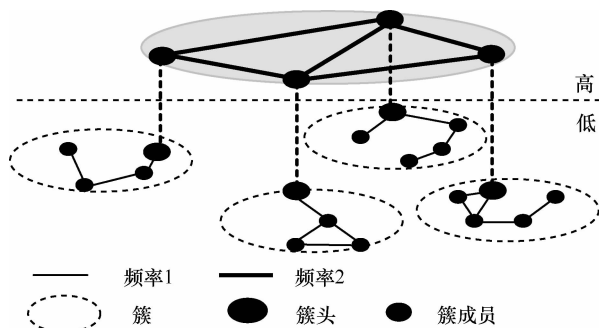


图 1 多频分级网络结构

构。相比于 VBN,这种由骨干节点构成的 MBN,建立和维护开销小且功能更为强大,使得 Ad Hoc 网络中的路由、接入控制、分组调度和管理变得更为容易^[4]。应急通信网络可以通过地面干线中继、低空通信平台和高空卫星通信实现大范围通信网络覆盖。地面中继需要大量骨干节点形成连通的网络,需要仔细配置和规划网络;低空 UAV 可以向所覆盖操作区域内的节点提供通信中继,规划简单,但可能成为拥塞点;卫星可以服务更大的地理范围,但是成本高、数据速率低。为此,应以适当的成本高效集成这 3 种中继方式。

一方面,为了提高通信质量和便于管理,希望每个行动区域内的普通节点尽量一跳接入骨干网络,但是这样需要配置较多的骨干节点(特别是当骨干节点可以移动时),网络成本较高;另一方面,网络中骨干节点数过少会降低网络的冗余性和顽健性。同时,骨干节点的数量受节点的发射功率和分布的制约,增大发射功率可以减少骨干节点的数量,但是会造成较强的干扰,并且易被敌方侦听和截获。因此,应综合考虑这些因素。一种可行的设计策略^[5]是合理配置骨干节点的数量,使干线网尽量覆盖所有普通节点,这样可以将指挥控制等重要信息迅速传送到普通节点,而允许普通节点一跳或经多跳转接入干线网来减少骨干节点的数量和增加系统的灵活性。在恶劣的应急网络环境中,骨干节点易暴露而遭到各种自然或人为的干扰和破坏。当干线网失效时,如果条件允许,普通节点可以借助空中中继平台或高空卫星进行通信;否则,分级网络退化为平面对等式网络,此时服务性能会下降,但仍可以通过节点的多跳转来满足基本的通信要求。

3.3 多层分级网络结构

分级网络结构可以将节点移动和链路质量变化带来的影响限制在局部范围,从而使网络具有较好的可扩展性。从理论上讲,网络可分成任意多个层次。一般而言,对于规模较大的网络,级数越多,可扩展性越好,但是维护开销越大,操作和管理也越复杂,并且节点间的通信采用最优路由的机会越少^[8]。因此,应在满足网络功能和可扩展性要求的前提下尽量减少网络的级数。根据应急通信网络的特点和可生存性要求,依据网络分层的思想,可将整个应急网络划分为 4 级,分别对应地面普通用户节点、地面骨干节点、低空 UAV 和高空卫星,如图 2 所示。Ad Hoc 网络结构的具体说明如下。

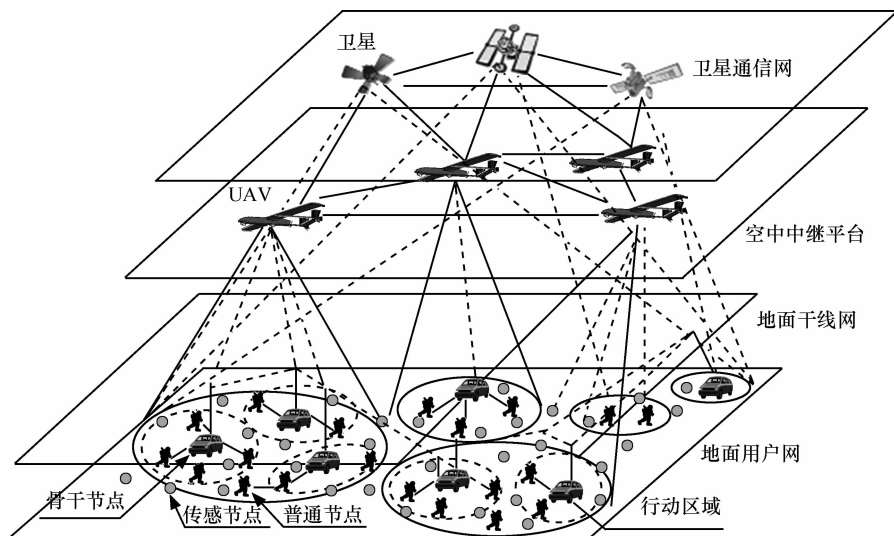


图2 多层分级战术 Ad Hoc 网络结构

(1)地面用户网是分层网络结构的最底层

该层包括各种具有不同通信和处理能力的车载电台(骨干节点)和个人可携带电台(普通节点),是一种异构 Ad Hoc 网络。普通节点尽量以骨干节点为簇头,将网络划分成多个簇。在每个簇内,簇头负责管理和协调普通节点,并可以在簇间使用 CDMA 技术来增加网络的空间复用率。如果普通节点附近不存在骨干节点,可以通过其他节点的中继转发接入地面干线网或在可能的情况下接入空中网络。地面用户网抗毁性较强,支持移动用户间的语音和数据通信。另外,可以在事发区域部署大量无线传感节点,它们自组织地构成无线传感网络来执行定位、跟踪、侦测和监视任务。无线传感网络在逻辑上位于地面用户网之下,为各类用户提供信息支持,可以和信息传输系统以及指挥控制系统相连构成一体化通信支撑平台^[9]。

(2)地面移动干线网作为第2层网络

地面干线网构建于底层的地面用户网之上,并且只包含骨干节点。在应急通信环境中,地面各种基站和应急通信车均能充当骨干节点,并可以按照多跳通信方式互连或者借助定向天线实现高速的点点到点无线连接,形成栅格状的干线网。干线网主要用于支持行动区域内的指挥控制和态势感知信息的传输,并可以方便网络资源的管理。另外,骨干节点也可根据需要划分成簇而构成多级地面网络。地面用户网应与地面干线网实现无缝连接,充分利用干线网支持地面行动单元的高速语音、数据的综合传输。

(3)在大气层以下 UAV 等各种低空中继平台构成第3层网络

UAV 覆盖地面几十到几百千米的范围,可以克服高速无线电台的视距传输限制,通常为地面一个行动区域提供服务,改善通信的可用性和可靠性^[7]。多个 UAV 之间需保持密切联系来协作完成特定任务,因此这些 UAV 可以构成如图3所示的特殊的空中多跳自组织网络,为更大范围的应急事发区域提供通信服务。

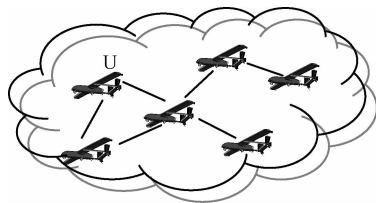


图3 UAV 构成的多跳自治系统

(4)网络结构的最高层

由多个种类或型号不同的卫星构成的卫星通信系统,满足从战略到战术层次的全方位信息传输需要。相比于 UAV,卫星具有更大的覆盖范围和更强的通信和信息处理能力,但是成本较高、传输时延大、部署不方便,因此可以和 UAV 结合使用形成优势互补。

高空卫星通信网和低空中继平台互连构成的空中骨干网(ABN)能够充当地面干线网的备份通信设施,增强网络连接,协助转发应急行动区域之间的通信流量,简化网络配置,减少节点移动和信道质量变化的影响,降低系统开销,从而提高整个应急通信网络的可扩展性和可生存性^[10]。这种空中骨干网还可以辅助完成整个应急现场区

域的态势感知、目标定位、协调行动和灾情评估等任务。

多层分级无线自组织应急通信网络有很强的可生存性,具体如下所述。

- 立体栅格状网络结构的抗毁性很强,网络存在大量冗余连接,个别节点出现故障和线路毁坏不会影响网络的正常通信,并能自动为用户信息传输选择迂回路由。
- 网络能够快速配置和展开,适应多变的应急现场环境。
- 干线网具有集中控制能力,便于实现应急现场的统一指挥,用户网采用分布式控制,适合为应急救援机构提供“动中通”。

整个网络涵盖应急救援现场涉及的陆、海、空、天、电/磁五维空间,强调各维通信要素间的相互配合,加强了系统的互联、互通、互操作能力,将高空卫星通信、低空中继平台、地面干线网、用户电台网和无线传感网络无缝衔接在一起,构成一个有机的整体,保障态势感知和指挥控制信息在整个应急现场范围内的横向和纵向传递,有效保障应急行动的顺利开展。

4 提高应急通信网络可生存性的措施

4.1 干线网备份方案

干线网是战术通信网传输和交换的枢纽,是整个应急现场范围内信息传递的主要载体,并为用户节点、指挥所互连其他网络提供接口。干线网一旦瘫痪,整个战术通信网就很可能被分割成多个孤立的子网,整个应急现场内的信息传递和协同指挥将无从实现,这是最不希望看到的情况。可见,保障地面干线网的可生存性是至关重要的。

为了提高干线网的抗毁性和抗干扰能力,应使用可以操作在多频带、多模式下的具有环境感知能力的通信传输设备(如认知无线电台),每种设备之间均能构成一条传输通道,多条传输通道互为备份。在条件允许的情况下,选择传输通道的原则应该是先有线,后无线;先宽带,后窄带;先动态,后静态^[1]。具体而言,应急区域优先利用现存的有线传输线路。在无法利用有线传输设施的条件下,应优先使用宽带无线电台网(如 UHF 网)作为干线网。在宽带电台出现故障或受较强干扰时,可以选择较低速的无线传输设备(如 VHF 电台)。干线网应该采用动态路由协议,而不宜设置静态路由。目前,许多 UHF 和 VHF 电台具有自组网能力。当 UHF/VHF 电网友被毁或遭受干扰时,还可以采

用短波信道实现战术通信网干线传输,但是短波信道建链时间长、速率低。因此,短波往往作为(除最低限度外)最后的传输手段。在短波通信亦无法工作时(如全频段干扰),最低限度通信手段(如低频地波通信和地下通信系统)可在干线节点间传输一些低速的指控数据。在实际应用中,应根据具体应用环境及传输设备选用适当的干线网备份手段。

在干线网中,路由应该能够自动切换和自恢复以提高网络的抗毁能力。当某一路由失效后,系统自动切换到次选备用路由,而当优选备用路由恢复时,系统也能够自动恢复到优选备用路由。为了按次序自动启动各种备份路由,应按照路由优先级为不同路由方案赋予不同的度量值。赋予高优先启动的备份路由较低的度量值,而赋予低优先备份路由较高的度量值,并将静态路由由仅配置给最低优先级备选路由。

4.2 考虑不对称的信息流

如图 4 所示,在分级应急通信网络中,地面行动区域的地面骨干节点到 UAV 的信息流量极不对称。例如,骨干节点可能向 UAV 发送 K bit 的请求分组要求获取地理信息,UAV 会返回 M bit 的地理信息。因此应依据不对称的信息传输特性来设计高效的协议。例如,C-ICAMA 协议就是一个针对此特点的基于预约的信道接入协议,它能够动态调整上下行链路的带宽比例,以适应不对称的业务流量^[2]。C-ICAMA 协议能够高效利用信道带宽,区分业务优先级。该协议基于 TDMA 方式,包含无竞争时隙和竞争时隙两种信息时隙。其中,无竞争时隙用于保障多媒体业务和紧急的数据;竞争时隙主要用于支持常规的消息。

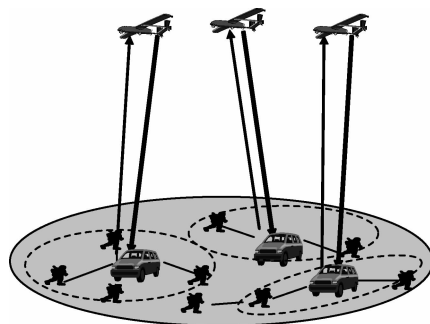


图 4 地面节点和 UAV 间的不对称流量

4.3 对等式信息分发机制

在基于无线自组网的应急通信网络中一般采用对等式信息分发方式,而不是传统的客户端—服务器方法。在客户端—服务器方法中,客户机必须向服务器发送请求消息来获取信息。这种信息获取方法的效率低、时延大,并且



应急现场环境中服务器容易出现故障甚至遭到摧毁。采用对等式的信息分发方法,任何节点均可请求和响应信息,信息可从最近的信息源获得,而不是指定的服务器,加快了信息获取速率^[13]。另外,由于信息分布存储在多个节点上,大大改善了信息分发系统的错误容忍性。为进一步提高应急现场信息的信息分发效率,可使用按需信息发布—订购机制。类似于互联网新闻组,用户可以订购感兴趣的信息。采用这种方法只需将信息发布到订购此信息的用户那里,减少了不必要的信息传递,提高了网络资源利用率。

4.4 赋予通信节点情感感知能力

传统的通信节点的工作模式和工作参数(包括工作频率、发送功率、信息编码方式)一经配置通常固定不变,难以适应复杂多变的应急网络环境,不能充分利用有限的网络资源并且不利于提高业务的服务质量。为此,可以考虑利用认知无线电技术,使通信设备具有频谱感知和伺机接入能力,使它们能够根据所处环境和网络状况自适应调整工作参数和操作方式,充分利用空闲的授权用户的频谱资源,从而提高应急通信网络的资源使用效率和整体性能^[14]。此外,具有情景感知能力的通信设备可以根据业务特征和服务要求来采用适当的操作策略。例如,当出现突发紧急情况而导致业务量剧增时,往往需要采用拥塞控制机制。此时,系统会放弃处理部分呼叫来保证紧急呼叫得到及时处理。如果拥塞控制机制没有网络认知能力,而遵循“先来先服务”的原则,则不能区分业务类型和用户优先级,难以满足应急通信场合下不同用户群体(如救援机构和受灾群众)的特殊通信要求。

总之,应充分考虑应急通信网络动态变化的业务量、资源状况和服务需求以及各类通信网络和终端设备自身的内在约束(如无线传感网络通信带宽较低且不稳定,网络节点传输功率和处理能力很有限且依靠电池供电),合理运用协同通信技术、认知无线电、环境智能感知、可重构柔性网络技术、拥塞控制和功率控制等技术领域的最新成果,使应急通信网络能够根据网络状况和用户需求的动态变化对网络工作参数和操作方式进行优化配置和资源重组,达到高效利用网络资源和优化网络整体效能的目的。

4.5 其他措施

在构建高生存性应急通信网络时,应根据不同应用场景来选择合适的通信技术手段和组网方式,并考虑不同技术手段的有效协同和集成。例如,可以通过有效结合多播、

泛播、选播和移动中继转发(也称信息摆渡)机制提供可生存的通信服务^[15];通过业务流识别、用户分类和优先级处理机制支持服务区能力。另外,应急无线通信网络中的服务模型不同于互联网端到端通信服务模型,而是类似时延容忍网络(DTN)的断续伺机型通信服务模型^[16],并且常常采用多播通信模式。

5 结束语

本文对高生存性无线应急自组织通信网络的设计进行了分析和研究。首先,说明了无线应急通信网的特点和可生存性要求;然后,详细阐述了高生存性无线应急通信网络的组网方式、设计策略和具体的网络结构,并探讨了一些提高网络可生存性的可行措施。

基于无线自组网的应急通信系统有以下优点:可以根据应急现场环境和系统需求的变化灵活配置网络;采用多层分级网络结构,系统的可扩展性和顽健性较好;通过多跳分组无线技术适应动态的网络拓扑,扩展了应急通信网的覆盖范围,减少了系统的总功耗;将节点划分为多个簇,降低了协议开销并便于实施网络管理;通过部署空中骨干网络和采用相关措施提高了网络的可生存性。总之,分级无线应急通信网络便于管理网络中各种行动单元,能够以较少的控制开销迅速可靠地传递信息,并可以根据实际需要和设备能力自适应地组网,从而为应急环境中的通信指挥提供一种灵活、可靠的支撑平台。

参考文献

- 1 王海涛,朱震宇,付鹰. 应急通信网络设计及关键技术探讨. 指挥信息系统与技术, 2010, 1(5): 28~33
- 2 Krishna P, Romit R C. Survivability analysis of Ad Hoc wireless network architecture. Proceedings of MWCN 2000, Paris, France, 2000: 31~46
- 3 Ansari N, Zhang C. Networking for critical conditions. IEEE Wireless Communications, 2009, 7(4): 73~81
- 4 王海涛,李桂伦. Ad Hoc 网络中骨干网的建立和维护. 重庆邮电学院学报, 2005, 17(1): 121~124
- 5 王海涛. Ad Hoc 网络的体系结构和分簇算法研究. 解放军理工大学博士学位论文, 2003
- 6 田永春,郭伟. 一种军用移动用户网的优化设计算法. 第七届全国青年通信学术会议论文集. 北京:电子工业出版社, 2001: 477~481
- 7 Gu D L, Pei G Y, Ly H, et al. Hierarchical routing for multi-layer Ad Hoc wireless networks with UAVs. Proceedings of IEEE Milcom 2000, Los Angeles, 2000

8 Tamer E, Timothy A. Multi-tier mobile Ad Hoc networks: architecture, protocols, and performance. IEEE MILCOM2003, Boston, 2003

9 王雪. 无线传感网络测量系统.北京: 机械工业出版社,2008

10 Xu K X, Hong X Y. An Ad Hoc network with mobile backbones. Proceedings of IEEE International Conference on Communications, New York, NY, April 2002:224~229

11 王海,朱晓阳. 高抗毁性战术互联网体系结构研究. 解放军理工大学通信工程学院第二届科学报告会论文集, 南京, 中国, 2003:7~12

12 Lihui D, C-ICAMA L H. A centralized intelligent channel assigned multiple access for the multi-Layer Ad-Hoc wireless networks with UAVs. WCNC 2000, Chicago, 2000

13 Ranjan R, Harwood A. Peer to peer based resource discovery in global grids: a tutorial. IEEE Communication Surveys, 2008,10(2): 6~32

14 Thomas R, Friend D, Dasilva L A. Cognitive networks adaptation and learning to achieve end-to-end performance objective. IEEE Communications Magazine, 2006,44(12): 51~57

15 Jain S, Shah R, Brunette W. Exploiting mobility for energy efficient data collection in wireless sensor networks. ACM/

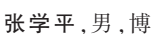
Kluwer Mobile Networks and Applications, 2006,11(3):327~339

16 Zhao W, Ammar M, Zegura E. Controlling the mobility of multiple data transport ferries in a delay-tolerant network. Proceedings of INFOCOM05, Miami, USA, 2005:1407~1418

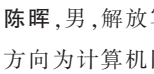
[作者简介]



王海涛,男,博士,解放军理工大学信息管理中心副教授,主要研究方向为无线自组网络、应急通信和网络信息管理等。



张学平,男,博士,解放军理工大学信息管理中心教授,主要研究方向为网络系统工程及应用等。



陈晖,男,解放军理工大学信息管理中心副教授,主要研究方向为计算机网络和信息安全保障等。

(收稿日期:2013-02-18)

· 简讯 ·

2013 年 7 月通信业主要指标完成情况(二)

指标名称	单位	本月末到达	比上年末净增	本月净增
固定电话用户合计	万户	27 221.9	-593.4	-69.3
公用电话用户	万部	2 275.4	-71.8	-9.8
城市电话用户	万户	18 694.4	-199.0	-17.4
住宅电话用户	万户	10 704.1	-309.1	-39.0
农村电话用户	万户	8 527.5	-394.4	-51.8
住宅电话用户	万户	6 914.6	-401.1	-56.3
移动电话用户合计	万户	118 522.9	7 307.4	937.0
其中:3G 用户	万户	33 373.9	10 093.5	1 486.9
互联网拨号用户	万户	562.0	-7.7	-0.5
互联网宽带接入用户	万户	18 263.7	1 278.4	169.1
其中:xDSL 用户	万户	11 226.9	-238.0	-50.8
移动互联网用户	万户	82 021.7	5 585.2	1573.8
固定电话普及率	部/百人	20.2		
移动电话普及率	部/百人	87.1		

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)