

应急指挥物联网系统架构与关键技术

陈前斌¹, 李国军³, 李国权², 叶昌荣²

- (1. 重庆邮电大学移动通信教育部工程研究中心, 重庆 400065;
2. 重庆邮电大学光电信息感测与传输技术重庆市重点实验室, 重庆 400065;
3. 陆军工程大学通信士官学校应急通信重庆市重点实验室, 重庆 400035)

摘要: 应急指挥物联网是智慧城市建设的重要内容, 是惠及面广、所需支撑技术丰富、产业带动全、服务示范性效应大的物联网应用领域之一。以灾害现场救援态势图的构建为出发点, 围绕突发事件现场应急救援指挥问题, 借鉴战场联合搜救网络、战术互联网体系结构, 提出包含身体局域网、现场指挥网与远程接入网的应急指挥物联网系统架构, 论述了应急指挥物联网建设面临的复杂环境单兵跟踪定位、穿戴式生命体征监测、移动自组织网络以及短波天波远程通信4个关键问题, 并以城市消防和山区自然灾害救援两种场景为例, 分析设计了应急指挥物联网系统集成应用方案, 对构建新一代应急指挥信息系统、推进智慧城市建设和提供有益探索。

关键词: 物联网; 应急指挥; 系统架构; 关键技术

中图分类号: TP393.0

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00067

System architecture and key technologies of emergency command Internet of things

CHEN Qianbin¹, LI Guojun³, LI Guoquan², YE Changrong²

1. Ministry of Education Mobile Communication Engineering Research Center, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China
2. Chongqing Key Laboratory of Photoelectronic Information Sensing and Transmitting Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China
3. Chongqing Key Laboratory of Emergency Communication, Commutation Sergeant School, Army Engineering University, Chongqing 400035, China

Abstract: Emergency command Internet of things is an important part of the construction of smart cities. It is one of the application fields of the Internet of things, which benefits a wide range, require rich support technologies, drives the whole industry and has large demonstration effect of service. Starting from the construction of the disaster site rescue situation map, the emergency rescue command and command issue at the emergency incident site was focused. Referring to the joint search and rescue network in the battlefield and the tactical Internet system structure, the emergency command Internet of things system architecture was proposed, including body LAN, on-site command network and remote access network. The four key problems faced by the construction of emergency command the Internet of things was discussed, single soldier tracking and positioning, wearable vital signs monitoring, mobile self-organizing network and shortwave sky wave remote communication. The two scenarios of urban fire rescue and natural disaster rescue were used to analyze and design the integrated application system of the emergency command IoT system, which provided useful exploration for building a new generation of emergency command information system and promoting the construction of smart cities.

Key words: Internet of things, emergency command, system architecture, key technology

收稿日期: 2018-06-25; 修回日期: 2018-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61671091, No.61671452); 重庆市基础研究与前沿探索项目 (No.cstc2015jcyjBX0078, No.cstc2016jcyjA0556); 重庆市社会民生保障项目 (No.cstc2016shmszx40003); 重庆市重点产业共性关键技术创新专项 (No.cstc2017zdcy-zdyfx0011)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61671091, No.61671452), Chongqing Basic Research and Frontier Exploration Projects (No.cstc2015jcyjBX0078, No.cstc2016jcyjA0556), Chongqing Social and People's Livelihood Security Projects (No.cstc2016shmszx40003), Chongqing Key Industry Common Key Technological Innovation Projects (No.cstc2017zdcy-zdyfx0011)

1 引言

我国是灾害频发的国家，但应急指挥技术体系以及应急产业发展相对缓慢。芦山地震、云南鲁甸地震、茂县滑坡等一系列重大突发事件的应急工作实践，使各级政府越来越深刻地认识到发展应急产业、提升政府危机应对与处置能力的重要性和紧迫性。2014年国务院办公厅发布《关于加快应急产业发展的意见》，首次对应急产业发展做出全面部署，提出到2020年，应急产业规模显著扩大，一批自主研发的重大应急装备^[1]投入使用。2018年3月17日，全国人大全体会议表决通过了国务院机构改革方案，国家将整合现有多个部委职责组建应急管理部，标志着我国应急管理形成合力，应急产业势必迎来新的发展机遇。

物联网^[2]作为一种新的信息产业，可在任何时间、任何地点互联，实现智能互动，对人类的健康、安全有不可估量的现实意义和社会意义，其应用领域已广泛渗透智能交通、公共安全、智能家居、智慧医疗^[3]等现实生活和社会生产中的各个角落。随着物联网^[4]在应急产业领域的应用，智慧应急的概念应运而生，即应急物联网^[5]，包括应急指挥物联网、应急监测物理网^[6]、应急预警物联网等。应急指挥物联网作为灾害预警^[7]、救援的指挥信息系统，是应急物联网的核心。通过物联网对复杂环境和突发事件的快速精确感知，打通应急指挥信息系统“六脉”，实现对突发灾难性环境的精确监测、救援指挥人员精确跟踪定位^[8]，提升应急指挥信息系统对应急事件态势的快速响应、精确感知、一体联动能力，适应当前经济社会发展对应急指挥管理控制的复杂要求。

应急指挥物联网作为新一代应急指挥信息系统的核心技术，是智慧城市建设的重要内容^[9]。目前多个城市提出公共安全应急物联网建设计划，主要集中在道路、水资源^[10]等环境监测方面，在应急指挥物联网等应急指挥信息系统核心技术方面缺乏深入研究。本文以军用一体化指挥信息系统、战术互联网、战场联合搜救等应急指挥信息系统为基础，瞄准当前应急指挥信息系统与物联网的演进方向，提出应急指挥物联网的系统架构^[11]，论述相关共性关键技术，最后面向城市消防救援^[12]、山区自然灾害救援^[13]等场景提出了详细的应用方案，为加快构建新一代应急指挥信息系统、推动应急产业创

新发展提供了有益参考。

2 系统架构

自然灾害等突发事件发生后，在生命可能持续的“黄金时间”内，军队、政府、公益性组织等各级各类救援团体将进行广泛协同、高强度抢救。这时最重要的是统一的通信指挥^[14]，因此应急指挥物联网需着力解决灾害现场所有救援力量的指挥控制以及与上级指挥部门的信息交互问题^[15]，通过人员跟踪定位、生命体征监测来实时感知救援态势，从而构建灾害现场救援态势图，为高效快捷的生命救援指挥提供统一的信息交互平台。

本文围绕突发事件现场应急救援指挥问题，以构建灾害现场救援态势图为出发点，针对灾害现场应急救援指挥面临的复杂环境人员态势感知、动态组网通信以及远程接入等问题，借鉴战场联合搜救网络、战术互联网体系结构，提出一种基于三层网络的应急指挥物联网系统架构，包含身体局域网^[16]、现场指挥网与远程接入网，如图1所示。

1) 身体局域网：工作在人体或人体附近范围内，提供一个由可穿戴式设备或位于人体内部的植入式传感器（装置）组成的无线通信网络^[17]，可以持续测量人体状况，是获取救援态势数据的基础网络。穿戴式传感器包括单兵惯性导航定位传感器、北斗（GPS）传感器、心率（血压、血氧）传感器，以实现复杂环境下单兵跟踪定位与生命体征监测。

2) 现场指挥网：灾害现场往往地理环境、电磁环境复杂，救援人员高度分散且无规律运动，这就要求构建强顽健性的单兵移动自组织网络，实现单兵身体局域网的移动可靠接入，同时满足现场指挥部门对各救援单兵的文本、语音、视频指挥以及单兵之间的协同信息传输。

3) 远程接入网：突发事件现场往往基础设施损毁，形成“信息孤岛”，则现场救援指挥部门需要构建超视距远程接入网络，打通“信息孤岛”与上级指挥机关的信息传递通道，实现上级指挥机构与现场指挥部门之间的语音（视频）及文本传输，同时远程接入网络还需要满足现场救援指挥部门机动过程中的移动接入需求。目前，短波通信与卫星通信是两种最为常用的超视距移动通信手段。

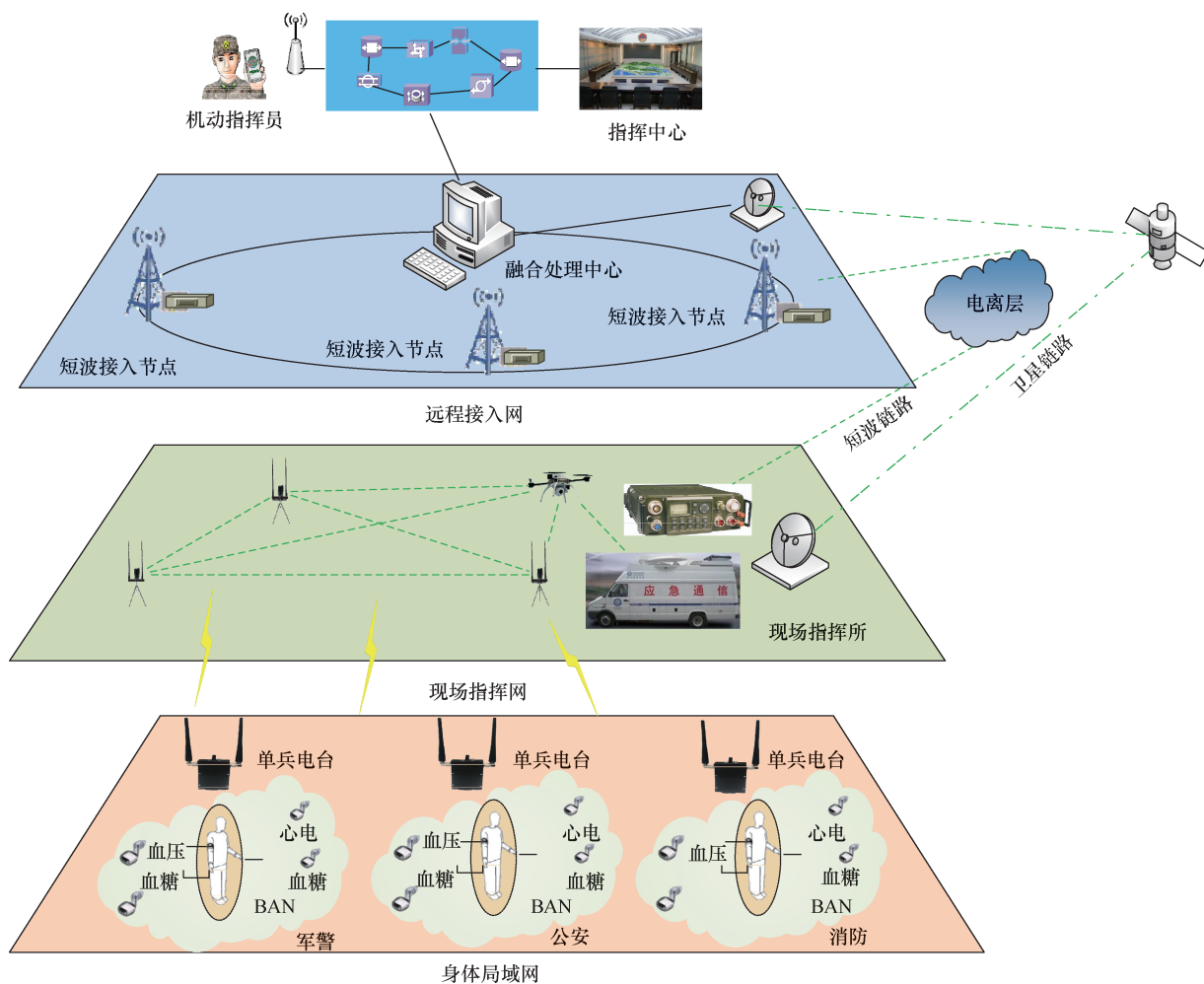


图1 应急指挥物联网系统架构示意图

3 关键技术

典型的城市紧急突发事件如火灾、人质事件等主要发生在大型建筑物内，由于火场高温有毒、建筑物坍塌等条件导致常规无线电、视频图像、卫星等定位导航技术均难以应用于室内消防反恐场景^[18]，消防、特警等救援人员的室内跟踪定位技术成为制约应急指挥物联网建设的首要因素。搜救人员运动状态下，无法像医院在自然状态下获取体征参数^[19]，因此穿戴式运动监护成为制约应急指挥物联网建设的因素之二。应急指挥系统的使用场景并不固定，突发事件在哪里则应急指挥就在哪里，这就要求应急指挥信息系统具有很强的环境自适应能力，能够在复杂环境下快速部署，能够适应语音、数据、视频多业务传输的需要，自组织网络传输成为制约应急指挥物联网建设的因素之三。在丛林沟壑、高楼街区等复杂地形环境下，卫星通信覆盖能力严重受限，短波天波通信成为首要的远程机动接入手

段，高可靠的短波天波通信成为制约应急指挥物联网建设的因素之四。

3.1 单兵室内定位技术

在室内应急场景或者反恐救援行动中，救援行动的高效开展以及救援人员的生命保障，需要实时感知单兵位置以实现定位导航^[20]。在室内无法利用卫星信号导航的情况下，时间的紧迫性也不允许临时布置基础定位设施^[21]，此时唯一可以利用的技术便是惯性导航。早期的惯性传感器特别是陀螺仪，单个造价非常高，一般的用户根本无法负担。随着MEMS技术的发展与成熟，价格及尺寸都大大减少，极大地拓展了惯性传感器的可应用前景。

在室内自主传感定位中，陀螺仪成为惯性导航和制导系统的关键功能部件，其发展水平直接决定导航定位装备和系统的性能。目前，用于惯性信息获取的微惯性传感器研究相比于信息传输和信息处理技术相对滞后，严重制约了惯性导航系统和定位技术的发展。在国家深空探测^[22]、载人航天、

北斗卫星导航系统、常规兵器制导化等重点工程的带动下，现代惯性导航和定位技术得到了快速发展，同时也对惯性器件提出了更高要求，即陀螺在保证高精度的前提下，还需具备低功耗、小体积、高带宽、高动态范围和高稳定性等特性。传统的液浮陀螺、电磁陀螺和静电陀螺适用于大载体、高精度的惯性导航系统，但普遍存在体积大、启动时间长、存在可动部件等问题，无法很好地满足高带宽、低功耗、小体积等要求。MEMS 惯性器件具有体积小、成本低的特点，通过集成惯性测量单元(IMU)、磁传感单元、高度计测量单元、单兵自主导航处理单元、电源管理单元，以校准各种误差，采用多层约束卡尔曼(KALMAN)滤波技术将人体运动特征、场景建立与交互、智能传感器网络协同导航技术与惯性导航技术深度信息融合，则同样可以实现高精度的单兵自主导航，图 2 给出了基于 MEMS 惯性器件的单兵室内定位系统示意图。

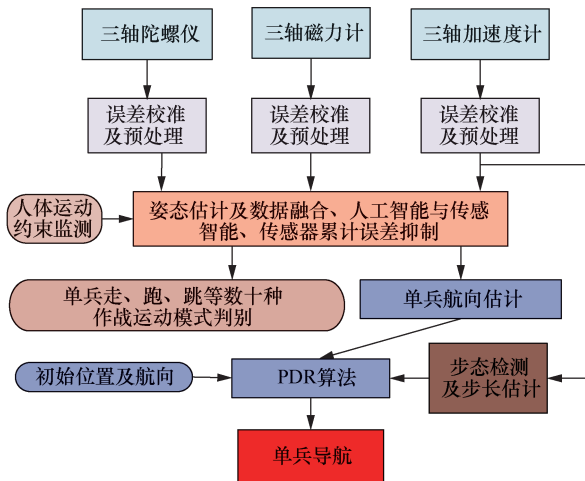


图 2 基于 MEMS 惯性器件的单兵室内定位系统

3.2 穿戴式生命体征信息采集技术

位于人体表面的节点通过组网的方式实现多参数体征信息的采集与处理，即体域网(BAN, body area network)。图 3 为采集节点的结构示意，由负责采集生命体征参数的传感器和处理参数信号的 SoC 构成。在节点芯片上，预处理电路实现不同体征参数特征的提取，在 MCU 控制下 BAN 协议^[23]模块将数据转换成协议标准支持的格式，处理后的数据由射频电路发射。MCU 采用缩减指令集的设计方式与休眠唤醒机制，设计全速工作模式与二级睡眠模式（浅度睡眠与深度睡眠），可根据需要调整 MCU 工作占空比，关闭 MCU 中暂时不使用的

部分。能源管理电路通过接收到的指令控制整个芯片处于正常工作态或是沉睡状态，动态电压调节电路根据系统任务自动调整各模块工作电压，在保证系统任务完成的情况下，使电路模块运行在尽可能低的电压上。

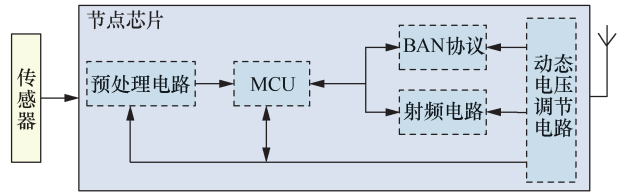


图 3 生命体征采集节点结构

预处理电路中，通过敏感元件进行信号采集，并根据前端采集信号的不同，设计不同的片上系统算法，实现不同体征参数的特征提取。例如，可采用小波变换方法对动态心电信号进行数字滤波和特征点标定，设计心律失常和波形分类的识别算法；可采用独立成份分析方法对多心音节点信号进行预处理、特征提取和分类识别；可采用脉搏波传导时间法连续测量、模拟动态血压，设计新的脉搏波特征点识别算法，准确地计算血氧饱和度参量。

目前的可穿戴设备主要以腕式手环的方式呈现，监测参数较为单一，通常采用蓝牙或者 Wi-Fi 的方式实现与集中器或者中心设备的沟通，并不是 BAN 系统专用通信协议，因此根据上述提出的无线传感器节点微结构，仍需要进一步研究高速预处理电路的实现方式，设计支持 BAN 协议的电路模块，建立智能化的动态电压调节电路结构并以上述微结构设计方案为基础，研制心电图、呼吸、心音、SpO₂、血压、体温等典型传感器节点样机，形成微型化、低功耗、标准化、芯片化的医疗物联网传感器节点解决方案。

3.3 无线自组网技术

无线自组织网络通信技术是一种移动无线通信技术^[24]，适合区域环境覆盖和宽带高速无线接入。通过呈网状分布的多个无线节点间的相互合作和协同，实现高质量的数据传输，并具有动态自组织、自配置、自维护等突出特点，整个网络也能够根据实际情况自适应地形成任意网络拓扑。与常规的通信系统相比，自组织网络具有组网灵活、抗毁能力强、组网快速等优势，特别适合应急指挥信息系统环境适应性强、部署灵活的要求，是解决应急

指挥系统自适应网络传输的有效手段。作为一种无线自组织网络,无线 Mesh 网络在 Ad hoc 的基础上抽象出了一个 Mesh,骨干网由专门的网络设备(路由器等)组建^[25],而且组成骨干网的这些设备一般是不移动或是弱移动性的,这就解决了 Ad hoc 终端设备一般无法胜任大规模的网络拓扑结构、大数据量(比如音频、视频多媒体数据)转发的难题。通过在室内人行通道或室外无人机上布设路由节点,无线 Mesh 网络特别适用于山区自然灾害救援、室内消防反恐应用场景。

无线 Mesh 网络媒体接入控制与路由技术是制约应急指挥自适应网络传输的关键,不同 Mesh 节点在网络中具有同等的传输地位,分布式的组网方式及对等性与多跳性是 Mesh 网络的主要特点,从而各等同节点的多跳无线链路存在较强的相互干扰^[26],严重限制 Mesh 网络“提高网络容量”的目标。传统的 Mesh 网络基本都采用单信道和单接口机制,控制信息和数据信息都共用同一个射频和一个信道资源,这样的信道接入策略导致了整个网络的数据传输率较低。为了解决由于单信道、单接口机制导致的问题,可采用多信道多接口机制。Mesh 节点具有 1 个控制接口,专门用来收发广播和控制信息;还具有 N 个数据接口,用来收发业务数据信息。另外,路由选择对提高整个 Mesh 网络的性能具有重要意义,如何在路由选择的过程中综合考虑用户的 QoS 需求、用户间干扰、系统可用带宽等参数,通过结合路径选择机制的无线资源管理策略保证用户服务质量和网络整体性能也是 Mesh 网络研究的一个重要问题。

图 4 给出了一种灾害现场移动自组织网络^[27]示意图,地面 Mesh 微基站、无人机自组网中继节点、车载自组网节点以及单兵自组网电台组成地面自组织接入网^[28],为救援单兵提供实时接入服务。

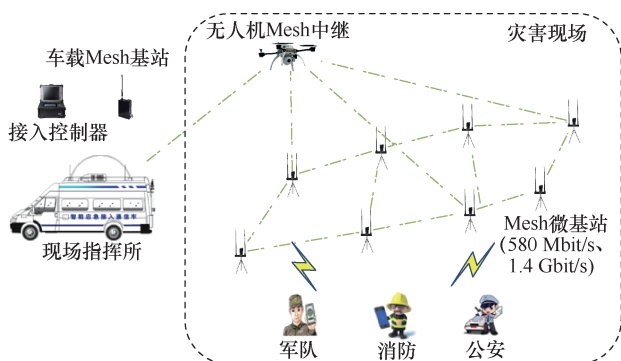


图 4 灾害现场移动自组织接入网示意图

用户智能终端(手机等)的音频、数据信息通过单兵电台接入地面 Mesh 微基站,进而通过无人机中继传输至接入车^[29]。地面 Mesh 微基站可用于在复杂环境下延伸和拓宽信号覆盖范围,即开即用,具有快速灵活的特点。指挥车上的车载自组网节点设备可直接将音/视频信息接入到监视器或大屏幕进行实时监控^[30]与调度指挥^[31]。

3.4 短波天波通信技术

短波天波通信工作频率为 3~30 MHz,利用电离层对高频电磁波反射的机理实现长达数千公里的超视距通信(通常又称为天波超视距通信),经多次反射可实现全球覆盖。短波通信历来是国家、军队应急通信、远程通信和机动通信的基本手段。在基础通信设施毁损、卫星系统不能覆盖的区域,短波通信成为唯一可用的指挥控制手段。

但实际情况是,被赋予重用于联通“信息孤岛”的机动短波电台常常难以应急,沟通率低。各个应急通信部门花费巨资购置的短波通信设备组织应用过程十分困难,大多处于备份闲置状态。长期以来短波通信“离不了、用不好”的尴尬境地没有根本改变,制约短波通信传输的关键性问题主要体现在两个方面:1) 频率管理机制落后,不能适应天波传播动态的时变特性。短波天波通信依靠电离层^[32]反射进行通信,电离层具有不稳定的多层结构,其传播频率窗口动态时变。随着近年来对短波需求的持续升温,军队、武警、公安、人防、电信、交通等多个部门购置了大量短波电台,但忽视了短波通信所必需的频率探测与管理设备。没有按照天波传播规律合理规划工作频段,各部门大都固定配置工作频率,行业之间又缺乏有效的协调沟通机制,导致有限的传播频率窗口内存在严重的它台干扰,宝贵的频率资源浪费严重且通信效能低下。2) 接收站点缺乏协作机制^[33],难以解决链路非对称性问题。现有短波通信系统建设片面重视大型发信站点的建设,然而远程机动用户功率受限且受自身机动平台天线效率的限制,常常导致突发事件区域机动用户上行信号弱、建链难。长期以来,短波接入站点都是分离使用的,相互之间独立工作,缺乏相互协作^[34]接收的机制,这是应急短波通信领域中链路非对称性问题尚未有效解决的主要原因。

针对当前应急短波通信系统建设各自为政、分散投入、效益低下的问题,本文从军民融合^[35]、行业整合、资源统合入手,依托公众通信网的现有资

源，提出一种栅格化应急短波远程接入网络，为远程用户提供统一的应急话音/短信接入平台，解决军民建设分离、专网公网不互通、系统效能低下的问题，图 5 给出系统结构示意图。应急短波接入网由信息处理中心、公众通信网、短波接入节点和短波发射台站组成。短波接入节点在国土范围内若干公众通信网基站上进行改造升级，增加一套宽带接收机以及宽带全向接收天线，通过骨干网络相互连接至信息处理中心。由于短波下行链路可以通过功率和方向性天线进行补偿，因此短波发射台站的选取对地域限制少，可以根据实际情况灵活选取相关发射台站。军队与地方在平时共享该网络，区别是军队业务通过军队 CDMA 网络进行传输与融合而且空口波形采用不同的应用软件加以保密，二者均可以按照数据流量进行计费。战时或重大突发事件发生时，军队可征用地方发信台站或地方临时调用军方发射台站，两者互为补充，便于资源高效利用。

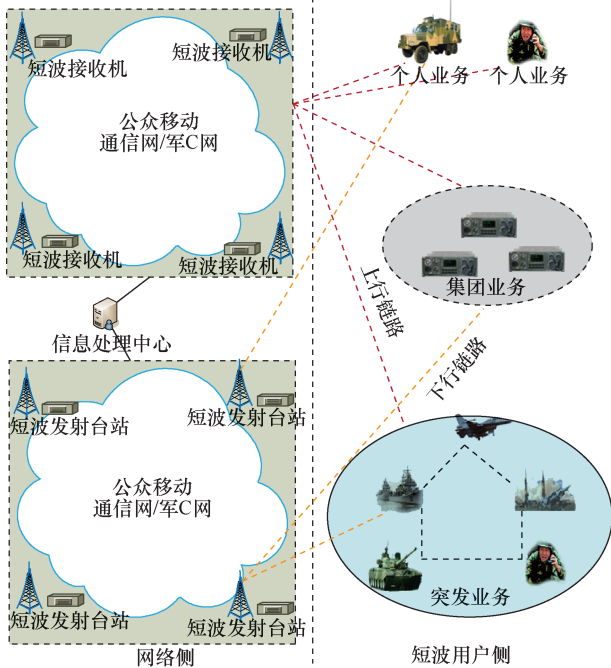


图 5 栅格化应急短波远程接入网示意图

4 典型应用场景

基于应急指挥物联网体系架构与关键技术，进一步论述山地城市消防反恐与山区自然灾害救援两种场景下的应急指挥物联网系统集成应用方案。

4.1 城市消防应急指挥物联网系统

在室内消防救援场景中，救援人员由于疲劳、现场毒气、恐怖袭击等因素导致自身安全受到威

胁。因此亟需为救援人员提供便携式、可穿戴的生命体征监测系统及定位^[36]导航系统，采集消防员在火灾现场的实时位置、通过无线网络^[37]汇集数据到现场的指挥中心，实现指挥中心和搜救现场实时沟通，保障对现场消防人员位置和健康的实时监控、对现场环境的实时感知和及时救援，对于把握消防队伍整体战斗力、指挥团体作战具有重要意义。

考虑市区内道路交通基础好、后续增援方便，为增强应对突发事件的快速响应能力，指挥系统采用便携式指挥箱，既便于车载也便于单兵携行，有利于在事件现场快速进行部署。山地城市消防反恐应急指挥物联网系统主要包含穿戴式单兵室内定位^[38]与生命体征监测系统、单兵自组网电台及便携式指挥箱，如图 6 所示。



图 6 消防应急指挥物联网系统示意图

1) 穿戴式单兵室内定位与生命体征监测系统

消防救援人员可穿戴系统分为两个模块：实时体征采集模块和自主定位传感模块^[39]。对于消防单兵而言，实时体征采集模块设计在消防单兵手套上，集成双波段光电传感器^[40]，实时采集并计算消防员心率和血氧等生命体征参数^[41]，并通过蓝牙将参数发送给单兵自组网电台，通过无线网络传输到指挥中心。也可将自主定位传感模块穿戴在消防员腰间，集成陀螺仪、加速度计、磁力计等多种传感器，实时采集和计算单兵角速率、磁强度、加速度等信息并通过蓝牙传输给单兵自组网电台，通过无线网络传输到指挥中心，从而形成单兵位置信息。

2) 单兵自组网窄带电台

考虑消防反恐单兵主要采用话音、传感数据传输且需要信息保密，因此消防反恐单兵自组网电台工作在公安专用的 350 MHz 频段，采用无线 Mesh 组网技术实现多达 30 个用户节点话音、传感数据

组网传输。

3) 便携式指挥箱

通过内置的单兵网络电台，实时接收单兵上传的传感数据，基于其搭载的多参数态势感知 SDK 软件模块，结合地图 GIS 可得到单兵的位置、健康信息、周边环境信息、建筑物内部构造及单兵分布情况，极大方便后台监控消防员状态、规划路径，同时指挥中心可实时语音指挥调度任意单兵。

消防反恐应急指挥物联网系统可实时呈现消防人员的三维位置信息、实时监测单兵生命体征信息^[42]、单兵行为识别与动作捕获、远程语音指挥调度以及救援路线、撤离路线实时路径优化等。

4.2 山区自然灾害救援应急指挥物联网系统

山区自然灾害突发区域通常远离后方指挥中心，应急机动保障分队通常需要配备卫星通信车与短波通信车进行超视距传输，以实现后方指挥中心对应急保障分队行进过程与处置过程的语音、视频指挥。在某些特殊灾情点如沟壑、丛林、洞穴等，需要通过单兵现场靠近拍摄获取视频资料，因此山区自然灾害救援单兵电台需要视频传输业务。考虑灾害现场地形的复杂性，往往即使地面多跳节点也难以完全覆盖事件区域，为此在现场区域部署空中直升机节点，以解决广域覆盖问题。山区自然灾害救援应急指挥物联网系统主要包括卫星通信车、短波电台车、系留无人机、单兵自组网电台、穿戴式单兵生命体征监测系统，如图 7 所示。



图 7 山区自然灾害救援应急指挥物联网系统示意图

1) 卫星通信车：同时装载单兵自组网电台以实时接收应急现场单兵采集的视频或无人机采集的视频，也可与单兵进行双向语音通信。采用卫星链路，可以将现场无人机或单兵视频回传至后方指挥中心。同时，加装便携式指挥终端，将卫星通信车

作为应急现场机动通信保障中心。基于其搭载的多参数态势感知 SDK 软件模块，结合地图 GIS 得到单兵的位置、健康信息、周边环境信息、单兵分布情况，极大方便后台监控单兵状态以实现救援路径规划及实时调度。

2) 短波电台车：卫星通信链路开通流程复杂、时间长且只能在停驻情况下使用。短波通信作为一种重要的应急机动手段，可以在应急分队开进过程中与后方指挥中心保持机动联络，是卫星通信必不可少的备份手段。

3) 系留无人机：应急现场复杂的地形、地貌需要空中自组网节点，实现山区 50 km^2 左右灾害区域的有效覆盖。通过无人机吊装单兵自组网电台，既可以作为空中网络节点使用，也可以自由飞行进行灾害现场视频实时采集，并传输至现场指挥中心。

4) 单兵宽带自组网电台 (WIM)：考虑到山区复杂地形环境下无线传输存在的干扰和遮挡等，采用 COFDM 调制技术，保证宽带视频传输的高接收灵敏度。通过 Mesh 路由转发特性，当距离过远等问题使两点间的直线链路无法连通时，可通过第三点跳转接力的方式实现连通。单兵电台体积小、功耗低，既可单兵背负，也可搭载在无人机上，满足单兵背负、车载、无人机等不同场景的需求。

5) 穿戴式单兵生命体征采集模块：设计为胸带形式，主要采集单兵心率、心音、体温信息；单兵自组网电台集成北斗定位功能。

山区自然灾害救援应急指挥物联网系统可实时呈现单兵三维位置信息，实时监测单兵生命体征信息，实现单兵行为识别与动作捕获、无人机空中路由、空中视频采集传输、远程语音视频指挥调度、后方指挥中心与应急保障分队动态通信，救援路线、撤离路线实时路径优化等。

5 结束语

应急产业与物联网两大战略性新兴产业融合形成智慧应急产业，必将加快推进智慧城市建设与应急产业发展，对完善国家治理体系、实现城市治理能力现代化意义重大。本文研究基于应急指挥物联网技术的新一代应急指挥信息系统，围绕突发事件现场应急救援指挥问题，以灾害现场救援态势图的构建为出发点，借鉴战场联合搜救网络、战术互联网体系结构，提出了包含身体局域网、现场指挥

网与远程接入网的应急指挥物联网系统架构, 详细论述了应急指挥物联网建设面临的复杂环境中单兵跟踪定位、穿戴式生命体征监测、移动自组织网络以及短波天波远程通信 4 个关键问题, 进一步分析设计了山地城市消防反恐与山区自然灾害救援两种场景下应急指挥物联网系统集成应用方案, 对构建新一代应急指挥信息系统、推进智慧城市建设提供有益探索。

参考文献:

- [1] ZHANG S F, ZONG Q. Analysis on the development of military and civilian integration weapon equipment Internet of things industry[J]. *Dual-use Technology and Products*, 2011(2):13-15.
- [2] GAO J, TANG S. Emergency management and command system based on Internet of things technology[J]. *Communication Technology*, 2013(3):39-41.
- [3] WU H, LIU Y C, ZHENG Z, et al. The construction of telemedicine network of things for military and civilian integration[J]. *Chinese Digital Medicine*, 2017, 12(1):38-40.
- [4] ITU-T. Rec Y4000. Overview of Internet of things[R]. 2016.
- [5] YANG F, ZHANG B, XING L L, et al. Design and implementation of an emergency Internet of things system[J]. *Fujian Computer*, 2014(12):66-67.
- [6] LUO H J. Research on key technologies of marine monitoring sensor networks[D]. Shandong: China Ocean University, 2010.
- [7] ZHANG J, LI M, GUO C J. Application and practice of Internet of things technology in urban emergency management[J]. *Urban Management and Science and Technology*, 2013(1):59-61.
- [8] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system[C]//Nineteenth Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies Proceedings. 2000, 1(2):775-784.
- [9] LI B. Design of emergency management system for high-speed road network based on Internet of things[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014.
- [10] PALMER J, YUEN N, ORE J P, et al. On air-to-water radio communication between UAVs and water sensor networks[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2015:5311-5317.
- [11] GUO Y J, ZHANG C, LI L F. Research on architecture of emergency command system based on Internet of things[C]//China command and Control Conference. 2015.
- [12] HAN H. Research on tunnel engineering emergency command system based on Internet of things technology[D]. Xi'an: Changan University, 2012.
- [13] LIU X D. Research on emergency rescue system of oil field disaster based on Internet of things[D]. Xi'an: Xi'an Petroleum University, 2016.
- [14] ZHANG Y P. Research on emergency command model of Internet of things space and Internet space[D]. Tianjin: Tianjin University, 2015.
- [15] LIU X C, LI Y, WU Z F. Research on emergency rescue command system based on Internet of things[C]//2014 China Command and Control Conference. 2014.
- [16] LIU X J, WU X Z, SHEN Z. Research on the performance of marine wireless local area network based on mesh structure[J]. *Computer Technology and Development*, 2013, 23(6):162-165.
- [17] ZENG Y, ZHANG R, TENG J L. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2016, 54(5):36-42.
- [18] HARLE R. A survey of indoor inertial positioning systems for pedestrians[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, 15(3):1281-1293.
- [19] WHITEHOUSE K, CULLER D. Calibration as parameter estimation in sensor networks[C]//Proc. ACM Int. Workshop Wireless Sensor Networks and Applications. 2002:59-67.
- [20] CUI X, QIN Y Y, ZHOU Q, et al. Algorithm and experimental research on shoe personal navigation system[J]. *Measurement and Control Technology*, 2013, 32(3):138-142.
- [21] ZHU C J, ZHOU D Q, YANG Z. Research on indoor positioning error correction method based on MEMS[J]. *Surveying and Mapping Engineering*, 2017, 26(5):57-61.
- [22] MATOLAK D W, SUN R. Air-ground channel characterization for unmanned aircraft systems—part I: methods, measurements, and models for over-water settings[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2017, 66(1):26-44.
- [23] KUMAR R, DAVE M. A comparative study of various routing protocols in VANET[J]. *International Journal of Computer Science Issues*, 2011, 8(4).
- [24] GEZICI S. A survey on wireless position estimation[J]. *Wireless Personal Communications*, 2008, 44(3):263-282.
- [25] JIANG Q J. Research on routing technology of maritime tactical mobile Ad hoc network[J]. *Ship Science and Technology*, 2016(1): 136-138.
- [26] YU J L. Research on TD-LTE offshore network and interference suppression technology[J]. *Computers and Networks*, 2016, 42(8):65-68.
- [27] BEKMEZCI, SAHINGOZ O K, ŞAMIL T. Flying Ad hoc networks (FANETs): a survey[J]. *Ad hoc Networks*, 2013, 11(3):1254-1270.
- [28] ZHANG G F. Research on Ad hoc network routing protocol for UAV[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2017.
- [29] HAN Z H, XU W Y, TIAN L L, et al. Design and construction of marine personal life monitoring system[J]. *Chinese Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine*, 2011, 6(8):698-700.
- [30] LI M. Research and application of monitoring system based on Internet of things[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2016.
- [31] FAN K. Research on the new generation emergency command and dispatching communication system[J]. *Communication Technology*, 2011, 44(3): 35-37.
- [32] PATTERSON M C L, OSBRINK D, BRESCIA A, et al. Atmospheric and ocean boundary layer profiling with unmanned air platforms[C]//IEEE Oceans. 2014:1-7.

- [33] UYSAL M, HEIDARPOUR M R. Cooperative communication techniques for future-generation HF radios[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(10):56-63.
- [34] LI S, HEDLEY M, COLLINGS I B. New efficient indoor cooperative localization algorithm with empirical ranging error model[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2015, 33(7):1407-1417.
- [35] PENG C L, HUANG C F. An analysis of the industrial convergence of strategic emerging industries based on the integration of civil and military sectors - taking the nuclear energy industry as an example[J]. Scientific and Technological Progress and Countermeasures, 2014(22):97-101.
- [36] YU L J, YANG Y Q, CHI T H, et al. Design and implementation of fire emergency command platform based on indoor and outdoor positioning technology[J]. Internet of Things Technology, 2014(3):14-17.
- [37] BARBATEI R, SKAVHAUG A, JOHANSEN T A. Acquisition and relaying of data from a floating wireless sensor node using an unmanned aerial vehicle[C]// International Conference on Unmanned Aircraft Systems. 2015:677-686.
- [38] ALNAIMA F M, ALANY H. Vehicle location system based on RFID[J]. 2011 Developments in E-systems Engineering, 2011:473-478.
- [39] CHEN Y J, WANG J Q, LU G H. Review of non-contact life information detection technology[J]. Medical and Health Equipment, 2006, 27(3):32-33.
- [40] LU Y L, CHEN Y W, LIU Y, et al. High precision step size estimation algorithm based on MEMS inertial sensor[J]. Chinese Journal of Inertial Technology, 2018, 26(2):167-172.
- [41] LU H, WANG J Q, JING X J, et al. Study on life signal generator in analog human body system[J]. Medical and Health Equipment, 2006, 27(9):11-12.
- [42] AN Q, LU H, LI Z, et al. PDA for vital signs monitoring of life radar[J]. Medical Equipment, 2014, 35(7):1-4.

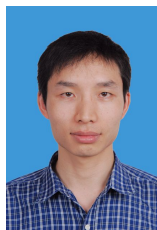
[作者简介]



陈前斌 (1967-), 男, 博士, 重庆邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为无线通信与网络、信号融合检测与处理等。



李国军 (1978-), 男, 博士, 陆军工程大学通信士官学校副教授、硕士生导师, 主要研究方向为战术无线通信与网络、信号融合检测与处理等。



李国权 (1980-), 男, 博士, 重庆邮电大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为 MIMO 无线通信传输技术、BAN 网络与信息处理技术等。



叶昌荣 (1989-), 男, 博士, 重庆邮电大学讲师, 主要研究方向为无线通信、信号融合检测与处理等。