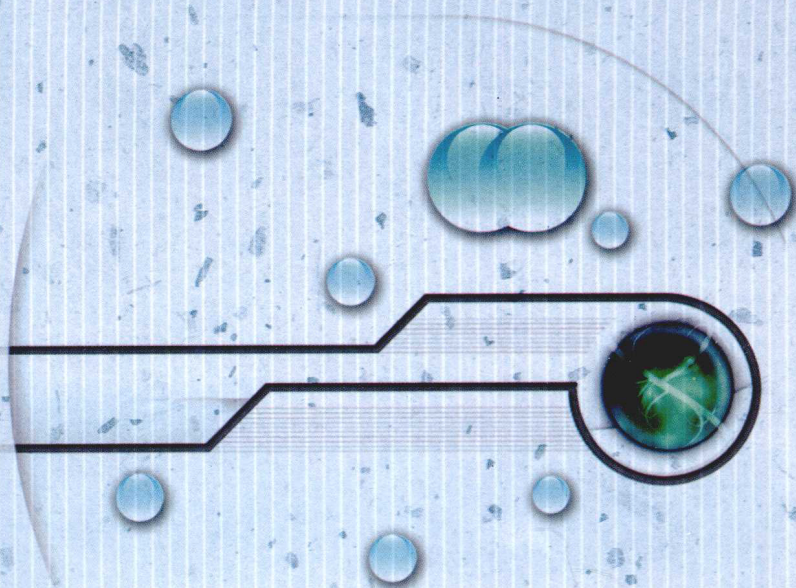




国防特色学术专著·信息与通信技术



战场监视地面传感器系统 技术与应用

ZHANCHANG JIANSHI DIMIAN CHUANGANQI XITONG

赵玉民 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色学术专著·信息与通信技术

战场监视地面传感器 系统技术与应用

赵玉民 著

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书主要从各类传感器系统如何捕获、探测广域地区随时可能出现的稍纵即逝目标 (TCT) 并向用户重现其时空事件的基本问题出发, 系统而全面地阐述了采用分布式战场传感器网络的系统解决方案, 包括战场传感器系统及其信息处理的体系结构, 各类传感器探测原理及其信号处理技术, 分布式多传感器网络信息的融合处理, 信息传输和网络, 传感器应用配置、部署展开技术与方法等。最后, 本书介绍了战场传感器系统的典型应用案例及其系统。

本书可供从事战场侦察监视和目标捕获的技术人员、系统研发与应用人员及高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

战场监视地面传感器系统技术与应用 / 赵玉民著. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 3

(国防特色学术专著. 信息与通信技术)

ISBN 978-7-5640-4193-9

I. ①战… II. ①赵… III. ①战场-传感器-地面侦察-侦察系统 IV. ①E87
②TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 008493 号

战场监视地面传感器系统技术与应用

赵玉民 著

责任编辑 刘志实

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号 (100081) 发行部电话: 010-68944990 传真: 010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

保定市中国美凯印刷有限公司印刷 全国各地新华书店

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 21.5 字数: 498 千字

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷 印数: 1—3000 册

ISBN 978-7-5640-4193-9 定价: 65.00 元

前 言

战场监视地面传感器技术是一种利用各类传感器（主要有声、震、磁和图像等传感器）事先布设于敌人活动地区（如，敌人可能通过的道路上），昼夜不间断地监视敌目标活动事件的无源隐蔽探测技术。它采用多传感器分布式布设并组合，每个传感器探测范围有限（相对雷达而言），无人管理工作，以电池供电和采用无线通信实时“报告”探测结果，由此在国外通常称之为“无人管理地面传感器”（Unattended Ground Sensor, UGS）技术。

战场监视传感器系统是由一组传感器、中继器和监控终端等节点设备组成，是包括传感器、通信和计算机处理三大环节的典型信息系统，是涵盖了信息获取（传感器）、信息传输（通信）与信息处理（计算机）三大子领域并相互融合的综合技术。系统依靠上述分布式布设的各类多传感器组网联用，获取目标信息，检测目标活动事件，并对目标进行识别分类、测定运动方向和数量等目标特性；然后将这些探测结果编码变成简短电文，由传感器机内发射机瞬间突发出去，直接传输或经中继器传输到后方监控终端；监控终端接收、处理并显示前沿各监视区域的上述传感器探测结果“报警”，进行多传感器数据关联融合，形成各目标批次跟踪/识别文件，以数据表格和电子地图动态态势图形等方式形象、直观地综合显示敌入侵全貌场景与动态行迹，直接向战场指挥员提供各批次目标类型、数量规模等属性及其运动轨迹、当前位置运动方向、速度等状态估计的实时规范情报和战场态势感知实时数据；同时该终端与战术互联网（TI）互联，可将这些规范情报和战场态势数据分发到互联网上，“上报”给上级领导和分发给相应部队，为部队态势感知和作战指挥决策提供有效实时而可靠的情报支援与保障，并可补充和完善国家级与战区级的情报资源。因此该系统是一个集传感探测、信息传输、监控显示与情报综合处理、管理及分发应用于一体的综合战场情报侦察系统。

战场监视传感器技术作为战场侦察监视和目标捕获指示的新兴技术和手段，以其新颖的形式、独特的功效在过去的战争中发挥了重要作用，也是未来信息战中战场态势感知和目标捕获/指示的重要而有效的手段，是具有军事应用价值的前沿技术和边缘技术，具有较好的发展前景。但战场传感技术不像光电、雷达技术那样已形成专门学科和行业，为多数人所通晓和普及。直至今日，国内外还没有一本系统介绍这类技术的书籍。从20世纪90年代开始，美国“国际光学工程协会”（SPIE）每年有一次“UGS技术及其应用”学术年会及其会议录并在IEEE和许多传感器和信号处理类杂志上刊登了UGS论文及相关技术，尤其现今热门的无线传感器网络（WSN）研究已成为目前IT领域的研究热点和

关键技术,其研究论文、专著与教科书甚多,国内外学术界都推出了许多无线传感器网络与协议算法等,业界也推出了像“蓝牙”(Bluetooth)、标准的 Zig-bee 等解决方案及相应的专用收发芯片、单片系统(SoC)等,但均为传感器系统的无线通信与网络论述,主要是阐述与传统无线通信网(如 GSM、WLAN 网等)不同的通信协议等相关技术。而战场传感器系统虽结构十分简单,但确实是“麻雀虽小五脏俱全”的灵巧系统,并与其应用及部署紧密相连。为了探索和研究这一新兴技术在战场侦察监视和目标捕获(RSTA)、兵力保卫和智能弹药(IMS)等各领域的广泛应用,作者为适应这些信息获取领域的需要,为促进我国战场传感器技术及其系统的研究开发及其系统的实际应用与推广,编撰了这本专著,从信息技术的系统观点,较全面和深入地研究和总结了有关战场监视传感器系统理论、技术及其各类应用系统。作者从 20 世纪 80 年代中期以来一直从事这种系统技术和应用方面的研究,在研究过程中结合工程实践,对分布式传感器系统的理论与技术进行了较系统的研究和工程应用探索,在工程实践上有突破性的应用,取得了填补我国空白、达到国外先进水平的较好成果。本书就是在对这种系统研究与实践基础上总结而编撰出来的,吸收了这些研究的技术成果与经验。本书系统而全面地阐述了分布式传感器系统结构、各类传感器探测理论与技术,传感器组网技术及其协同信号与信息处理技术、分布式传感器数据融合技术与算法等一系列新的系统观点和学术论点,具有独到的见解和创新理论,是国内第一本系统介绍战场传感器系统理论、技术及其应用的学术专著。本书内容新颖且具体实用,理论和实践结合,技术和应用并重,系统性强;撰写层次清楚,逻辑性强,从物理概念入手,可读性好。对促进我国战场传感器技术与装备的研究与开发具有帮助和推动作用。本书不仅对从事军事装备研制和传感器系统研究的科研技术人员,而且对军事、工业各级部门从事装备研究、管理和应用的人员提供参考,同时对院校教学和部队装备使用、保障均有一定参考价值,可作为培训教材和参考读物。

本书的内容主要从各类传感器系统如何捕获、检测广域地区随时随地可能出现的稍纵即逝目标(TCT)并向用户重现其时空事件的基本问题出发,提出了采用分布式传感器网络的系统解决方案,系统而全面地阐述了战场监视传感器系统理论与技术及其应用,包括战场传感器系统结构和信息处理结构,各类传感器探测原理与信号处理技术,分布式多传感器网络及其信号与信息协同处理,信息传输和网络,传感器应用配置、部署展开技术与方法等。全文共八章,第一章绪论,介绍战场传感器基本原理和系统构成及其性能指标、军事应用与优势、发展简史与趋势等;第二章系统体系结构设计,从系统任务要求的广域和高分辨目标监视问题出发,探索和研究了系统探测机理、系统结构模型、系统信号与信息协同处理结构(数据融合层次)和通信网络体系结构;第三章传

感器探测原理与技术,研究了系统应用的声/震、磁/红外和图像等传感器和其多元阵列/网络的探测技术及其信号处理技术;第四章数据传输和无线通信网络技术,研究适应系统应用的数据传输网络拓扑结构、特点,组成原理、通信设备实现方案等;第五章多传感器数据融合和监控终端技术,研究和提出了采用多传感器数据融合技术解决战场传感器信号与信息协同处理的系列方法与算法、计算机辅助决策、数据库技术等及其实现,介绍了所研制的监控终端设备与性能;第六章传感器的应用、配置、部署展开及其布设、机动方法与技术,分析并研究了战场 RSTA 的任务需求,提出了适应任务需求、覆盖广域关心区域(AOD)的传感器应用组织、任务规划程序,传感器部署布局与拓扑结构、传感器部署的综合优化决策及其传感器部署的步骤与部署布设、机动方法与技术等,介绍了系统研制的系统任务规划辅助决策专家系统;第七章系统模拟仿真和自检测试技术,研究了传感器系统及其应用部署结构方案性能测试的模拟仿真试验技术与方法,部署方案优化决策及其评价指标体系,介绍了系统研制的模拟仿真试验平台/自检测试系统;第八章战场传感器系统的军事应用系统,研究和介绍了战场传感器的外军军事应用系统装备和技术研究的有关情况,包括用于战场侦察监视和目标捕获(RSTA)系统、边海防警戒监视系统、反坦克/反直升机智能地雷/雷场系统、无人管理的分布式电子战系统以及雷达信标等。

本书内容主要吸收了作者与其同事的共同研究成果。特别需要提出的是,军事科学院运筹所胡桐清研究员、西安电子科技大学数学系赵玮教授、中国人民解放军空军工程学院周玉芬教授等付出了辛勤的劳动,作出了很大的贡献,在此作者对他们的工作和贡献表示衷心的感谢!

由于战场监视传感器系统是一门新兴技术,有些理论技术还不成熟和完善,许多应用正在探讨或试验中,加上作者的水平 and 经验有限,所以,错误和不当之处难免,祈盼专家、广大读者批评指正!

作 者

目 录

第一章 绪论	1
1.1 战场传感器系统的产生与发展	1
1.2 战场传感器系统组成及其性能	3
1.2.1 系统工作原理和设备组成	3
1.2.2 系统功能及功能分系统	4
1.2.3 系统性能指标	7
1.3 战场传感器系统技术特点和军事应用及其优势	9
1.3.1 战场传感器系统的技术特点和军事应用优势	9
1.3.2 战场传感器战术运用的主要优缺点	11
1.3.3 战场传感器系统的应用领域和应用分类	12
1.4 现存技术问题与发展前景	14
1.4.1 传感器应用发展及其技术挑战	14
1.4.2 战场监视传感器技术的发展	14
1.4.3 战场传感器系统概念和系统结构上的发展	16
第二章 战场传感器系统的系统设计	18
2.1 引言	18
2.2 战场传感器系统的设计和问题求解方案	19
2.2.1 系统设计的工程处理流程和方法	19
2.2.2 战场传感器系统任务需求定义	22
2.2.3 实现系统任务需求的问题及其求解方法	23
2.2.4 战场传感器的部署与需求分析	27
2.2.5 系统分析与系统功能设计	30
2.2.6 系统的设计综合	32
2.3 战场传感器系统的结构模型	35
2.3.1 目标事件的时空采样与战场传感器部署	35
2.3.2 系统的结构模型及其结构设计	36
2.4 传感器信号和信息处理及其系统结构	38
2.4.1 协同信号和信息处理的顶层设计	39
2.4.2 数据融合的级别和信息处理系统的结构体系	40
2.4.3 信号与信息处理系统设计	42
2.5 传感器通信系统与网络的结构设计	43
2.5.1 概述	43
2.5.2 通信网络的拓扑结构	44

2.5.3 战场传感器通信分系统网络拓扑设计	46
第三章 战场传感器探测原理与技术	51
3.1 概述	51
3.2 目标与环境特性	52
3.2.1 地面目标特性	52
3.2.2 低空目标特性	53
3.2.3 环境背景影响	54
3.3 声/震传感器及其探测技术	55
3.3.1 概述	55
3.3.2 目标声/震信号特性及其信道传播特性	56
3.3.3 单元声/震传感器探测技术	64
3.3.4 多元声、震阵列探测技术	79
3.4 磁和红外传感器技术	98
3.4.1 无源红外传感器探测技术	99
3.4.2 磁传感器探测技术	108
3.5 长周边警戒监视和应力传感器技术	118
3.5.1 应用光纤“微弯效应”的光强度调制传感器	119
3.5.2 相位调制型光纤传感器(光纤干涉仪)	119
3.6 图像传感器技术	120
3.6.1 概述	120
3.6.2 图像传感器节点的设备组成和工作原理	124
3.6.3 图像数字化采集和预处理	128
3.6.4 分类识别/跟踪处理与算法	130
3.6.5 图像压缩编码	131
3.6.6 战场传感器系统图像传感器网络的实现	133
第四章 战场传感器通信传输系统技术	138
4.1 概述	138
4.2 传感器网络的区域覆盖与连通性	139
4.2.1 传感器通信的 RF 传播模型	139
4.2.2 传感器通信的链路预算和覆盖分析	142
4.3 战场传感器通信网络特点和设计方法	145
4.3.1 战场传感器通信网络的系统分析	145
4.3.2 传感器通信网络设计的技术问题与系统设计	149
4.4 战场传感器网络的创建与组织	154
4.4.1 概述	155
4.4.2 网络节点自定位/同步技术	156
4.4.3 定位算法与传感器网络组建/网络拓扑结构生成	161

4.5 传感器通信系统体系结构和协议	167
4.5.1 无线传感器网络通信技术与评价	167
4.5.2 传感器网络体系结构和协议堆栈	170
4.6 通信体制和高能效收发信机	176
4.6.1 通信系统实现的方案	176
4.6.2 通信传输方式和通信体制选择	177
4.6.3 通信系统基本方案与设计	181
第五章 多传感器数据融合和监控终端技术	186
5.1 概述	186
5.2 多传感器数据融合技术与方法	187
5.2.1 多传感器数据融合基本概念	187
5.2.2 多传感器数据融合方法与技术	189
5.3 战场传感器系统数据融合技术	195
5.3.1 传感器系统数据融合功能模型和流程图	195
5.3.2 数据融合理论与算法	196
5.4 战场传感器监控终端的系统结构与设计	210
5.4.1 系统的主要功能及战术技术指标	210
5.4.2 系统结构和设备组成	213
5.4.3 系统实现方法与技术途径	215
第六章 战场传感器系统的运用和展开部署方法	219
6.1 引言	219
6.2 传感器展开应用考虑的问题	220
6.2.1 被支援单位的任务和传感器部署的地理位置 (规则 I)	220
6.2.2 战场 RSTA 任务/分类和传感器部署的方案 (规则 II)	221
6.2.3 传感器类型、数量及其组合的优化选择 (规则 III)	228
6.3 传感器系统任务规划与部署的综合、优化	230
6.3.1 传感器系统任务规划及其展开布置的设计与组织	230
6.3.2 传感器网络的通信覆盖和连通性考虑	232
6.3.3 系统传感器布置方案的仿真测试和优化选择	233
6.3.4 传感器部署方案的综合与优化举例	233
6.4 传感器的部署布置方法及其子系统	234
6.4.1 战场传感器系统的部署布置方法与系统及其发展趋势	235
6.4.2 战场传感器投掷布置子系统和设备组成	238
6.5 系统任务规划/部署布置辅助决策系统	241
6.5.1 辅助决策系统的任务功能	241
6.5.2 辅助决策系统方案和设备组成	242
6.5.3 辅助决策系统主要功能及战术技术指标	244

第七章 系统模拟仿真和检验检测技术	247
7.1 引言	247
7.2 战场传感器系统性能测试评估方法和模型	248
7.2.1 战场传感器系统性能测试评估方法	248
7.2.2 系统性能测试评估的目标和评估模型	250
7.3 模拟仿真/检验检测方法	260
7.3.1 模拟仿真/检验检测方法与步骤	260
7.3.2 模拟真实世界的仿真测试信号产生	261
7.3.3 模拟仿真体系结构和系统性能测试方法	263
7.4 战场传感器模拟仿真/检验检测系统	266
7.4.1 模拟仿真/检验检测系统的方案	266
7.4.2 系统构建与设备组成	269
7.4.3 模拟仿真/测试检验系统主要功能及技术指标	270
第八章 战场传感器应用典型案例	273
8.1 引言	273
8.2 远距离战场传感器 RSTA 系统	274
8.2.1 战场传感器在 RSTA 任务中的使用原理	275
8.2.2 战场 RSTA 应用的典型传感器系统	278
8.2.3 美陆军目标部队网络传感器和分布式地面传感器集成系统	287
8.3 防生化网络	291
8.4 边海防和周界警戒监视传感器系统	292
8.4.1 战场传感器系统在边海防警戒监视的应用及其系统方案	293
8.4.2 外军典型系统装备现状	297
8.5 反狙击手/火力的声测定位(网络)系统	298
8.5.1 狙击手/火力声测定位原理及其系统方案	299
8.5.2 狙击手/火力声测定位系统发展与装备概况	301
8.5.3 狙击手/火力声测定位系统典型装备	305
8.6 智能弹药系统(IMS)	309
8.6.1 智能地雷的发展及其重要作用	309
8.6.2 战场传感器在智能地雷系统中的应用及其技术方案	314
8.6.3 智能地雷战场传感器典型应用系统	319
8.6.4 美陆军未来作战系统智能弹药系统(FCS-IMS)	321
8.7 分布式网络化信号情报侦收与干扰技术	322
8.7.1 分布式网络化综合电子战系统方案设想	322
8.7.2 美国 DARPA 的“狼群”(Wolf-pack)计划	324
参考文献	325

第一章 绪 论

战场监视地面传感器系统(以下简称“战场传感器系统”或“传感器系统”)是一种不需要人在侦察现场直接干预的被动式战场侦察器材,外国军队称之为“无人管理地面传感器”(UGS)系统。通常,整个系统由多种、多个传感器、中继器和监控终端等组成,是集先进的传感器、数字通信网络和计算机终端等于一体的综合情报侦察监视系统。回顾其发展历史,可以发现:其系统发展是由于军事上的强烈需求和传感器、通信、计算机等技术迅速发展的推动,由初期的在丛林中铁丝网上挂罐头筒警戒敌方偷袭的雏形逐步发展起来的。其功能和效用在美军越战期间的多次局部战争中逐渐显现出来,其新颖的形式、独特的功效发挥了许多重要作用,尤其近年美军在阿富汗战争、伊拉克战争和反恐战争中将其用于兵力保护、对抗恐怖分子偷袭和搜寻恐怖分子等,使其充分显现在军事上的重要性,并证明其是战场侦察监视、态势感知、兵力保护和目标捕获的一种重要而有效的先进新型侦察装备与技术。战场传感器和地面监视雷达一样,也是一种全天候能适应各种地形环境的侦察监视系统,它们既可单独使用,也可和其他战场监视与目标搜索系统一同使用,特别是可用于光电、雷达等“视线”达不到的地域,是光电、雷达、夜视器材等直视器材的有效补充手段。本章先概括介绍其发展历史、系统构成、设备组成及其性能,然后介绍其系统应用优势与分类,最后介绍现存的技术问题和发展趋势。

1.1 战场传感器系统的产生与发展

战场监视传感器系统的产生和应用最早追溯到 20 世纪 60 年代中期的越南战争期间。美军在越南战场面临着所谓反入侵的最大难题,美国国防部为了寻求监视北越往南越的渗透活动的方法而提出了这种传感器系统,从而推动这项技术作为战场侦察监视器材进入了大发展的新阶段。当时,美军采用的雷达、光电和飞机等区域侦察和部队侦察手段,甚至对北方遂行地毯式轰炸的“雷鸣”行动在内,均奏效甚微。为解决所谓反入侵难题,美军提出沿 17°线非军事区一侧建立地面监视系统,沿胡志明小道设置空中监视系统,从而为远距离监视侦察传感器的“双刃”(Double Blade)和“白屋”(Laloo White)两个三军计划拨款七亿多美元。1967 年年底在非军事区配置“双刃”系统(报界称“麦克纳马拉墙”)和在老挝建立空中支援封锁系统“白屋”(报界称“热带树”电子系统)。这样,由战争需求牵引而诞生了战场传感器并在越南战场广泛部署使用,取得了很好的作战效果。例如,越战中的凯山(Khe Sanh)防御作战;克鲁克武器支援基地防御作战等,尤其美国空军长达 4 年之久的冰屋·白色作战,通过飞机空投将大量传感器(即所谓热带树)布设于目标通过道路和必经之路的区域上,形成了所谓既能侦察又能攻击的足迹系统,监视着长达 5 600 km 的胡志明小道,任何路口、弯道、峡谷均在监视之中,只要越军运输车队进入传感器网监视区域即被检测到并跟踪上。当他们进入攻击地带时即对其进行飞机轰炸。4 年时间击毁和阻断了越军大部分运输车辆,运抵南方的物资只占总数的 20%,取得了丰硕战果。经过实战证明:依靠模拟的单震、单声传感器和人工参与分析处理,探测到丛林小路上关键目标(TCT)的活动,充分显现了战场监视传感器的独特功能和应用价值,及其在军事上的巨大作用与作战效能。因而,美军进而发展了“行李袋”(Duffel Bag)系

统,将地面传感器扩展应用于整个东南亚战场。这样,在实战应用中诞生了战场传感器这样正式的军事装备,1971 年美军将越战用传感器归类为“东南亚作战传感器系统”(SEAOPSS),1976 年又命名为“远距离传感器”(REMS),即“伦姆斯”。

由于战场传感器在越战的成功应用和独特功效,所以越战后其引起了欧美等发达国家的重视,并使这些国家对其专门投资并大力发展。在 20 世纪 70 年代,美国成立了“伦巴斯”(REMBASS,远距离监视战场传感器系统)办公室,启动了“伦巴斯”计划。70~80 年代美国先后研制并装备部队服役的有“排用警戒系统”(PEWS),即“皮伍斯”“伦巴斯”;“野战炮兵声测定位系统”(FAALS),即“法尔斯”等。同时,英国研制并装备部队的有“覆盖局部区域的用于入侵分类的遥感系统”(CLASSIC,即克拉西希)RGS-2740、赫尔姆斯(HERMES)远距离传感器系统等;德国 KRUPP ATLAS 电子学公司研制了“无源声学战场侦察系统”,包括“声测系统”“声测直升机系统”和“声/震战场监视系统”等。这些系统按越战使用的方式设计,开发了智能的数字声、震和磁、红外、压力等多种单节点传感器,采用复杂的目标检测、分类识别和定位跟踪算法,以及声测炮位、直升机的声/震阵列测向定位技术等,传感器的部署布设除人工、空投方法外,还开发了炮射投掷、抛撒等布设方法。这些系统广泛地应用于周边监测、资源保卫和对“华沙”和平监视,作为“空地一体战”理论(“Airland Battle Concept”)的重要侦察监视手段而用于欧洲受威胁的地区。

20 世纪 80 年代后期,美陆军面临所谓的非战争形式的作战和低强度冲突的作战,需应付反暴动、禁毒和战斗兵力保护等任务,为适应特种作战部队(SOF)和在低强度冲突(LIC)中的远距离渗透/禁区的地面监视和对敌后活动的侦察等任务需求,战场传感器在性能和作战能力保持不变的条件下进行了小型化、提高鲁健性的改进,包括进行功能部件组合、提供增强的任务规划与信息处理功能、减少体积质量并大幅降低成本等所谓预定计划产品改进,如“小型入侵探测系统”(MIDS)、改进型伦巴斯(IREMBASS)等系统装备,但在系统工作概念上、技术上并无革命性变化。

从 20 世纪 90 年代以后,由于世界军事革命和高技术战争尤其反恐战争、城区作战对传感器这种新颖侦察技术的需求,战场传感器系统的发展和应用的再度高涨起来,尤其在美国,美国国防部高级研究规划局(DARPA)和美陆军、海军推行了一系列计划和项目,例如,20 世纪 90 年代中后期美国 DARPA 的“互联网战场传感器”(IUGS)计划、国防情报局中央测量与信号特征情报局(MASINT)办公室的“钢响尾蛇/钢鹰”(Steel Rattler/Engle)计划、支援和武器扩散倡议办公室/防御特种武器局的战术 UGS 计划、美陆军 Omni Sense 计划和海军陆战队 TRSS 计划等。为适应反恐、特种作战等需要,战场传感器发生了全面变革,技术上着重开发新型传感器,提高传感器的工作能力,例如,纳入无人值守的多元声/震阵列传感器、小型图像传感器及声、震与图像复合传感器等,大幅降低成本、功耗和体积质量等;同时在系统概念上发生了革命性的变化,革新战场传感器的系统工作概念、开发协同工作和信号与信息处理的新一代互联网传感器系统等,并在实战中应用并进行有效性的检验,例如,沙漠风暴后时代“战争中止者”(War Breaker)计划,应用协同工作的数字化监视系统在中东沙漠地区和韩国山区检测、跟踪和分类识别了时间性关键目标(TCT)。目前,无线传感器网络是当今信息领域新的研究热点,传感器系统正朝微型化、智能化、网络化方向发展,正为传感器使用中遇到的技术挑战和为新的战争形式需求革新发展,必将以其新颖形式、独特的功效在未来信息战中为战场态势感知和目标捕获研究发挥越来越重要的作用。

1.2 战场传感器系统组成及其性能

1.2.1 系统工作原理和设备组成

一、系统的工作原理和过程

分析上述美、英等国家发展的战场监视传感器系统装备的系统结构和设备组成,均可概括描述为图 1-1 所示。整个系统是由传感器、中继器和监控终端等三类所谓节点设备组成,其中传感器有多种类型,例如,地震传感器、声响传感器、红外传感器、磁传感器和压力传感器及其复合传感器等。系统的工作原理和过程是:采用一定数量传感器分布式布设在需要进行侦察即敌人可能活动的地域和要道上,通过自动探测地面震动、声响、红外、磁场和压力等扰动变化,探知目标车辆、人员的活动情况,对目标进行探测、识别分类、测定运动方向和数量等目标特性;然后将这些探测结果编码变成简短电文,由传感器机内发射机瞬间发送出去,直接传输或经中继器传输到后方监控终端;监控终端按时间顺序接收、处理并显示前沿各监视区域各传感器的探测“报警”,并进行多传感器数据关联融合,形成各目标批次跟踪/识别文件,以数据表格和电子地图动态态势图形等方式形象、直观地综合显示敌入侵全貌场景与动态行迹,直接向战场指挥官提供各批次目标类型、数量规模等属性及其运动轨迹、当前位置运动方向、速度等状态估计的实时规范情报和战场态势感知实时信源;同时该终端与战术互联网(T1)互联,可将这些规范情报和战场态势数据分发到互联网上,“上报”给上级领导和分发给相应部队,为部队态势感知和作战指挥决策提供实时有效而可靠的情报支援与保障,并可补充和完善国家级和战区级的情报资源。因此,整个系统是一个集传感探测、信息传输、监控显示与情报综合处理、管理及分发应用于一体的综合战场情报侦探系统。

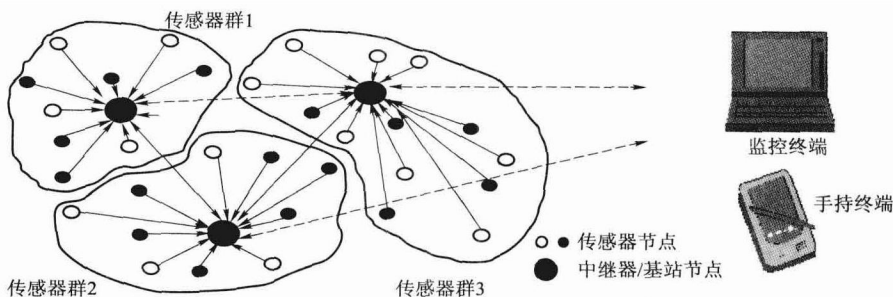


图 1-1 战场传感器系统的展开、工作原理和设备组成示意图

二、系统的结构组织与设备组成

依据上述的系统工作原理和过程可知:整个系统执行信息的拾取、传输与处理等任务。系统的功能包括了信息系统的三个基本环节:信息拾取、信息传输和信息处理对应的三个基本功能分系统,即传感探测(传感器)、信息传输(通信)和信息处理(计算机)三个分系统;同时,系统

工作需考虑将传感器部署布设到特定区域并进行定位所需的布设/定位设施和方法以及野外工作供电的电池等,所以系统还包括投掷布设分系统和系统供电及电源分系统等。另外,整个系统的结构由构成独立整机的传感器、中继器和监控终端等三类“节点”与辅助设备组成。因此,整个系统的结构组织与功能分系统描述如图 1-2 所示。

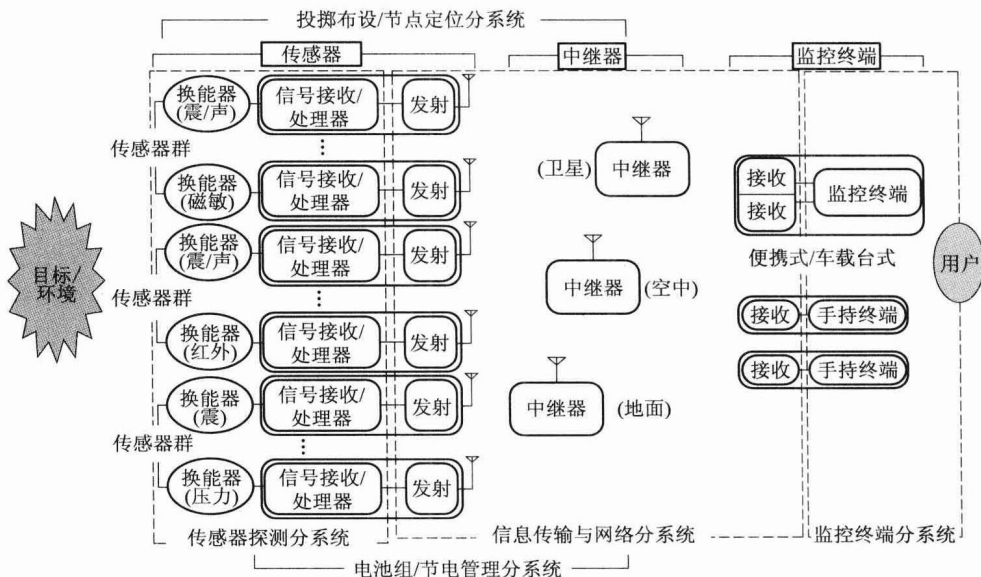


图 1-2 战场传感器系统的功能分系统

1.2.2 系统功能及功能分系统

整个系统从功能上涵盖了传感器投掷布设/定位、传感器探测、信息传输、监控终端显示与数据管理/分发等功能分系统。下面分别概括介绍这些功能分系统及其辅助设备的功能、设备构成与特性。

一、传感探测分系统

传感探测分系统的作用是获取信息,是整个系统的“感官”和信息“源头”,用来感知客观世界的事物,拾取其信息并变换成便于传输与处理的量(一般是电量),是系统的基础和系统多种探测功能的体现。在战场传感器系统中,传感器是被设计来部署布设到欲监视的区域、周边防线或道路上,自动警戒监视其周围敌人的活动情况,完成目标检测、跟踪定位和分类识别并自动“报告”探测结果等。

• 传感探测分系统主要由换能器及信号接收/处理器两部分构成,而作为典型传感器“节点”的系统结构,除传感探测功能外,还应包括供电电池和信息传输分系统中的无线电台等组件,如图 1-3 所示。

- (1) 由换能器及其信号接收/调理器(Conditioner)组成的信号感敏子系统;
- (2) 由微处理器或微控制器组成的信号处理子系统;
- (3) 电池或电池组和 DC/DC 变换器组成的供电源子系统;

(4) 将以上三者与信息传输分系统的无线电台组件共同构成独立整机,形成独立结构的“传感器节点”。

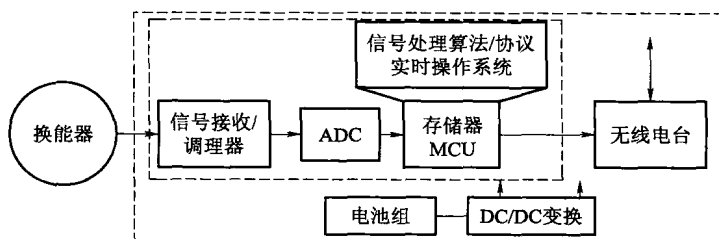


图 1-3 典型传感器节点的系统结构

• 战场监视传感器系统采用的传感器均是基于检测目标活动时不可避免地产生的声音、地震信号辐射、红外辐射、地磁场扰动变化和地面压力等信号而选择的相应传感器。根据敏感机理不同分为声、震、红外、磁和压力等物理型传感器,以及检测核生化等化学型、生物型传感器。传感器的种类繁多,千变万化,战场传感器系统使用的传感器也随着传感器技术发展和军事需求改变而变化,现今通常使用的传感器,按传感器敏感形式、参数、结构构成方法不同,具体分为非图像型和图像型两大类,如图 1-4 所示。

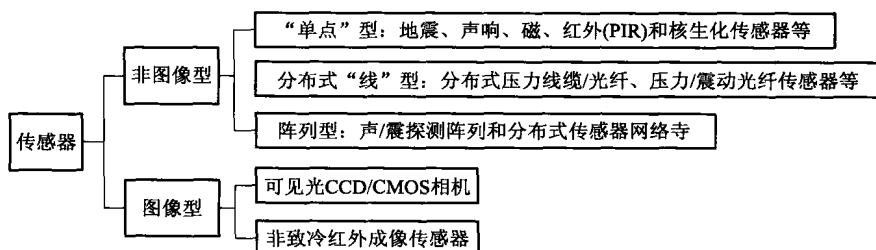


图 1-4 传感器类型

• 战场传感器系统依靠这样多种的多个传感器分散、隐蔽布设,共同覆盖所欲监视的广域空域,同时采用不同种类传感器组合使其工作于同一布设站点以相互补充、相互印证。选择不同分布式组网和混合方式,以满足各种不同战术侦察监视与任务需求。

二、信息传输(通信)分系统

信息传输分系统提供了从各类分散布设传感器到监视终端之间的数据传输链路,将分布式的传感器组成传感器网络。如图 1-2 所示,数据传输分系统是由传感器内的无线电台(发射)、中继器和监控终端内无线电台(接收)等硬件设备加它们的各计算机内通信协议等软件共同组成,其传输路径可以是直接的传输或经中继器(或称网关)传输。中继器的功能是延伸数据传输距离和克服 V/UHF 通信的固有视线限制缺陷,是为实现从传感器到监控终端的远程、超视距通信而设置的基础设施,被看成是无线移动通信网的基站。从传输网络来看,此中继器一方面与传感器现场内各传感器之间通信,构成传感器本地的“近程通信网”;另一方面,它实现到后方监视终端的远程传输链路,因而中继器被看成是各传感器现场近程通信网与至监控终端远程通信二者的“网关”,将近程网与远程通信网两者互联起来,形成全局的分布式传感器

网。此中继器可按传感器现场至监控终端的远近采用 V/UHF 或其他频段的地面、空中或卫星平台中继手段,实现要求的超视距(BLOS)和非视线(NLOS)远程传输。

三、监视终端分系统

监视终端是一个以小型或微型计算机为核心的集情报接收采集、综合处理、监视显示、指挥控制及通信等于一体的监控终端系统,由传感器数据接收机、计算机系统(含整套的软硬件系统)和与战术互联网互联的设备等组成。为便于使用和适应不同系统规模与梯队级别,监视终端设计成两种形式:一是手持式监视终端,这是以微型计算机(μC)为核心的小型传感器系统终端设备,适用于下级部队(如连、排级),可监控处理多达几十个传感器的报警信息;二是便携式监视终端,这是以小型便携式计算机(如笔记本式计算机)为核心的中型传感器系统监视终端,可监控多达几百个以上传感器报警信息。

监视终端分系统的基本功能是战场传感器系统的数据融合中心(处理中心)和指挥控制(C2)节点,实时自动接收、显示并存储各监视场内传感器直接传输或经中继器转发的探测报警信息;汇集并综合处理(多传感器数据融合)上述各传感器现场探测数据,进一步确定各现场入侵目标的类型、数量规模、运动速度、方向和对目标定位与跟踪等;同时该终端与“战术互联网”(TI)相连,将上述结果分发上报给上级指挥情报中心及相关作战部队等。

四、传感器布设/定位及其机动方法与设施分系统

传感器的使用要求事先将其展开部署与布设到要求场区、站点上并进行定位与安装调整,以保障传感器有效、可靠地检测到目标活动,这是保障传感器应用有效性和战术作战能力的必不可少的重要步骤和功能要求。但一经部署并布设到站点后即完全进入自动警戒监视的状态,在任务周期内无需任何照料管理。这通常包含两个过程:一是传感器和网络组织的任务规划;二是外场的展开部署与布设。这要求具备完成这两项功能的软硬件设施,即传感器部署布设与机动分系统,其中任务规划功能是在监控终端中依靠软件和相应的信息支持来完成,具体将在第六章介绍。下面简单介绍传感器部署布设及其机动设施的基本功能。

(一) 传感器部署布设方法

传感器运用之前需将传感器隐蔽布设到欲监视的区域内,因此传感器部署布设方法及其设施是其系统的重要组成部分,也是制约传感器广泛应用的瓶颈。传感器部署布设和布撒投掷的方法有:

- 人工部署布设方法:传感器可由机动部队巡逻队、远距离侦察巡逻队、远距离监视分队和传感器小组进行人工安置。人工安置的主要优点是简单、容易,传感器的感敏元件放置位置精确,易于伪装,并可以确定每个传感器的感应范围。缺点是传感器小组需深入安全会受到威胁的现场进行布设安置,环境复杂,有些区域甚至人员不能到达,且每次携带的传感器数量有限而且安置一系列传感器需要较长时间,非常费时费力。因此,迫切需要可广泛部署的可抛撒/投掷式的布设方法和传感器。

- 飞机空设、布撒方法:空中投放传感器主要由直升机来完成。这种方法可以在地面指挥官提出支援要求时迅速实施。飞机可以将传感器投放在地面小组无法到达的地方,投放速度快且在一次飞行中能够携带大量传感器。然而,飞机投放也受到敌军防空武器的威胁和不良天气的影响,而且无法精确定下传感器的感应范围。高性能的飞机和陆军的固定翼飞机虽

然目前尚未投入这一任务中,但用它们来投放传感器是可行的,在越战期间就采用了低空飞机空投的布设方法(“热带树”)。现今,美军正研究利用巡航导弹、无人机等运载平台进行精确的空投布撒。

- 火炮发射投掷布设方法:这是将“空投—地面的一次性干扰机”(AD—G/EXJAM)的有效负荷投掷系统原理概念,应用于战场传感器的无人投掷布设的方法。最早用 155 火炮,现今进一步发展有 60 mm、80 mm 迫击炮等炮射投掷布设方法与设施。

现今最新的传感器布设方法是引用地雷、弹药等的撒布和投掷技术和方法来部署布设传感器等,例如,美陆军采用 Valve 等地雷布撒器。最近美军还研究利用地面车辆抛撒方法,包括有人和无人地面车辆抛撒方法和技术等。

(二) 传感器机动方法

上述的传感器应用方法是将传感器布设或布撒到固定站点上用以发现目标的活动。但未来战场不是固定的,所谓“前沿”地域时时在变化,关心的监视区域也时时在变化,前方主力的机动部队没有时间去布设诸如“伦巴斯”这样的战场传感器,因此提出所谓“机动的战场传感器”(MUGS)的概念,即将传感器安装于机动的平台上(例如,无人机 UAV、无人车辆 UGV 和机器人等)执行机动的侦察监视。这样机动平台能快速部署使用,在运动中遥感和检测目标,以适应未来作战需要。

这样的传感器机动方法,现今应用和研究的有:

- (1) 无人地面车辆和机器人;
- (2) 无人飞机等。

尤其值得引起注意和重视的是采用微纳米技术的微型传感器与微型无人机、无人地面车辆、机器人等微型机动平台组合,如“蚂蚁士兵”、昆虫平台等微型武器装备的发展展望。

五、供电电源分系统

因传感器无人值守、长期连续监视工作,依靠有限能量的电池供电来执行长时间的任务,所以,供电电池及其节电方法和措施是系统组成的关键,通常选用大容量、小体积、长寿命电池和其他高效能新能源以及高效的电源变换(DC/DC)、节电及其管理技术与电路等;特别是如何高效使用有限能量来最大化提高网络寿命周期,从而实现使用小型 AA 型电池运行更长的时间,这是其系统面临的首要挑战,也是最关键技术之一。

1.2.3 系统性能指标

美国海军陆战队装备的 AN/GSQ—261“战术远距离传感器系统”(TRSS)和美陆军装备的 AN/GSQ—187“远距离监视战场传感器系统”(REMBASS/IREMBASS)与最新装备的第二代 AN/GSR—8(REMBASS—II)等系统,代表了当今世界上最先进的技术水平。为了对它有系统性的了解,以下根据有关文献提供的数据,从传感器战术应用角度概括介绍其系统的基本特性及其各分系统的性能指标情况,其系统的详细情况与应用将在第八章中介绍。

一、系统基本特性

- 系统结构体制适应分布式多传感器对欲监视区域的探测覆盖及其协同信息处理(数据