

光电多传感器信息融合系统

陆纪兴

(华北系统工程研究所, 北京, 100081)

摘要: 本文从系统观点阐述了多传感器信息融合系统的一般概念、组成、体系结构、实现技术和应用范例, 指出这是光电对抗、现代作战中必不可少的系统。

关键词: 光电对抗 多传感器组合 相关处理 信息融合

The opto-electronic multisensor data fusion system

Lu Jixing

(Huabei Institute of Systems Engineering)

Abstract: The concept, components & architecture, implementation technology and application examples of the multisensor data fusion system are described from systematic viewpoint in this paper, and it is pointed out that this system is a indispensable system in the opto-electronic countermeasures and modern combat.

Key words: opto-electronic countermeasures multisensor combination co-related processing data fusion

一、引言

日趋复杂的光电对抗战场和作战任务要求 C³I 和各种智能武器系统能及时理解其动态环境, 并迅速对此作出正确的响应。目前在景物描述、特征抽取、物体识别、推理机制和视觉理解系统的体系结构等方面均存在一系列未很好解决的关键技术, 这些关键技术都依赖于是否能准确、迅速、可靠、全面地获取战场信息, 尽管已研制出了能获取高质量信息的各种传感器, 如各种光电传感器(可见光、红外、微光、毫米波雷达、激光雷达、合成孔径雷达)等, 但它们的性能极大地依赖于使用环境, 至今还没有一种传感器在多种不同的使用条件下, 其各项性能(作用距离、测量精度、分辨率、抗干扰、灵敏度等)都高于其它类型的传感器^[1], 单传感器系统终不能满足诸如生存能力、低暴露性、交叉搜索、跟踪、交战方式及目标分类和识别等现代作战任务的要求。研究和应用表明: 分析和综合多种传感器的信息, 可明显改善这种状况。较之单传感器系统而言, 多传感器融合系统: (1) 能更准确地描述目标, 且不受传播条件和敌人引入对抗措施的影响; (2) 具有容错能力; (3) 信息互补, 系统决策正确度高; (4) 有利降低成本, 取得优越的

性能/价格比;(5)实时性好;(6)安装平台位置的占空度小;(7)更能适应多目标探测、跟踪、识别^[1,3]。从而,在C³I和各智能武器系统中使用多传感器及其处理系统,联合相关和综合多渠道获得的所有数据和信息的多重处理过程,就有可能明显地提高整体系统的战术技术性能,这正是多传感器信息融合课题所要研究的内容。

国外相当重视发展战场信息融合,美已连续几年把它列为国防部关键技术和重点研究内容,已在军用大型项目研制中采用了它;而在该领域处于领先地位的是英国,除单平台系统外,它们还正在研制多平台、多传感器的信息融合系统,并认为这是未来自动化作战管理系统中不可缺少的一项关键技术。皇家信号与雷达研究院(RSRE)为炮兵设计成了一个信息融合系统,已准备配用于装备多种侦察仪器的前沿指挥所。目前,多传感器战场信息融合技术发展迅猛,受到军事部门的极大关注,实时多传感器信息融合系统已从概念论证阶段走向开发应用阶段^[1]。国内则处于起步不久阶段。

二、功能和组成

1. 处理过程

图1是多传感器信息融合系统一般示图,由传感器/预处理机组,融合处理机构组成。光电传感器(FLIR,可见光/微光TV,激光器,雷达等)与其它各传感器按自主和集成方式工作在不同频谱区域,采集战斗环境实时信息和从情报报告,观测值、局部事件和战术标图得到的非实时信息,每一种传感器提供特定类型的目标

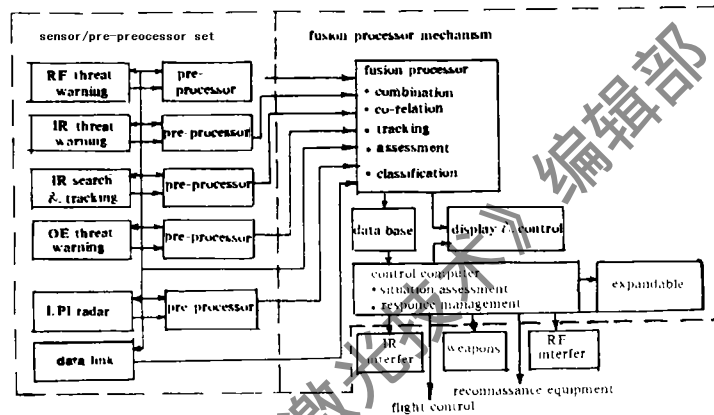


Fig. 1 Functional block diagram for a multisensor system

信息及性能、执行方式、使用状态等与自己有关的一系列特征,独立地送入预处理机组;预处理则进行信息规范和专用处理,利用各传感器本身的能力,据每一目标的结构和作战知识与存储的信息比较得出目标特征,再熔合作特征抽取,用推理机输入的信息与存储的数据库相比较进行目标分类和跟踪,并在传感器一级识别出致命的威胁;融合处理机组组合各不同传感器的报告/跟踪(包括警戒和威胁报警结果)信息和指挥控制决策系统来的信息,完成图象增强、影象融合、情况判断、敌我识别、目标识别、火控、化学战剂侦检、距离和距离变化率等的处理,以增强目标威胁估计和目标状态估计的环境理解,并以简明/要求/适应的方式送给用户、火控系统和指挥控制决策系统控制武器单元完成射击任务,同时火控系统及武器单元的状态又实时地回馈进行融合处理,传感器的工作状态亦经由融合处理机受决策系统控制。

跟踪装置与传感器相对应,来自光电、非光电的所有传感器数据都可作为跟踪数据库的数据使用,经校正后用于融合。当目标状态估计或威胁识别实现时,跟踪可自主进行,跟踪数据库和协调性报告相结合,即为融合功能的数据流,它是利用所有有用的数据建立的。

融合功能可按警戒或威胁报警两种方式工作,在警戒方式,融合接收所有传感器的数据,并执行坐标校准、时间传输、组合、相关和跟踪修正等功能,按一个主传感器进行威胁信息分

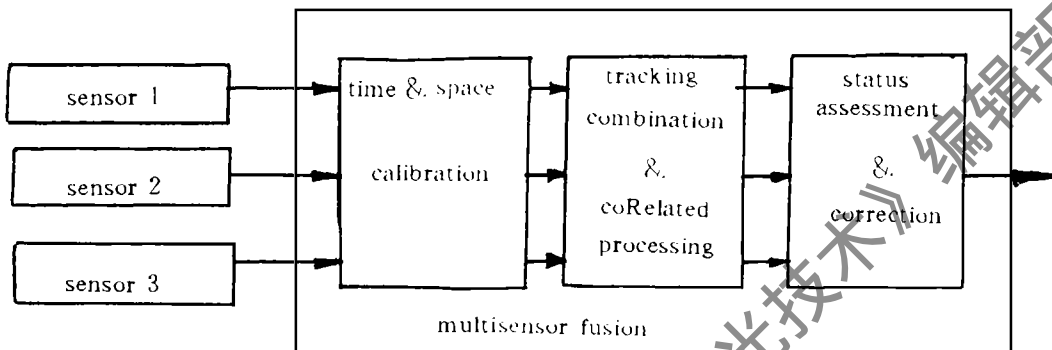
类,用所有相关的其它传感数据进行融合修正。特征抽取并将其组合到一个主跟踪数据库中,再进行态势评估,综合显示,传入火控系统。在威胁报警中,系统处于紧迫威胁识别所产生的压力作用之下。这种方式在需要时进行。

2. 融合和融合元素

信息融合(Data Fusion)就是通过对大量相关信息适当加权得出结论或态势评估的处理过程,是用来控制多路传感器系统,并以促进综合情报产生的方式合成传感器数据的一种方法,融合是指将来自同一目标的不同传感器系统的相关数据/报告变成单个过程的组合处理,相关是指把来自同一目标的传感器数据组合在一起的过程。

融合主要涉及下述四个关键功能元素:(1)提供全部原始数据的系统传感元素;(2)传感器输入分类、跟踪与评价元素;(3)供系统识别、分析、组合形成聚集信息的元素;(4)提供系统融合信息的报告。聚集过程通过信息的含意形成最初假设,再用概率统计等方法评估信息的有效性,然后将目标设定分块,使其与各跟踪过程关联起来。

3. 融合功能



Sensor Systems

- Asynchronism on time and space
- Respectively forming target tracking of its own coordinate systems

Calibration

- DE-SKEW time sampling interpolation
- Transform into common coordinate
- Assessment adaptability to platform

Tracking Combination

- Correlating possible fuzze tracking
- Include initial classification
- Use additional information

Status Assessment

- Keep tracking
- Remove false combination
- Fulfil classification process

Fig. 2 Multisensor processing

如图2所示,融合执行六个子功能。(1)时间传输:跟踪数据库的状态,实现到融合修正时间的转移;(2)坐标校准:设置传感器数据(包括跟踪数据库)共用坐标原点并对传感器偏离给出补偿;(3)组合:比较各不同传感器数据库的跟踪和报告,确定融合备用值,供特征试验、运动试验和概率试验用;(4)相关:处理组合结果,确定融合跟踪信息;(5)跟踪修正:用最佳相关跟踪信息修正跟踪数据库状态(各跟踪状态矢量和误差协方差阵),其输出是修正后的综合(主)跟踪数据库;(6)分类:检查跟踪并作出估计,确定目标类型、杀伤力及威胁优先级。

融合过程主要包括探测核实、相关、校对、推理四个阶段,核实是通过对照数据库内已有的信息自动完成的,相关靠检索数据库中某些特征与特定信息的匹配性完成,校对也是靠某些应用支持完成,并涉及人对报告真实性的判断,推理是若干基于知识的析取软件,其中单独的知识源需要按它们工作的子域设计,知识表示应多样化,知识要能按一种可控方式更新,以建立

具备各传感器全部确定特征的主跟踪数据库,用于态势评估、操作显示、火控系统和执行传感器控制、监视和提示、算法调用等。

时间传输和坐标校准是建立时空公用基准数据,将它们传给态势估计,可立即提请系统注意并作出反应。

4. 融合接口

融合功能可作为独立接口共享,如图3所示。综合显示接收修正的威胁报告、发射机方位及其它报警和状态数据;态势评估从主跟踪器数据库获取所有主动式发

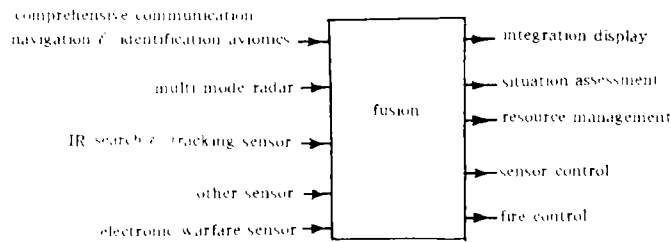


Fig. 3 Fusion interface

射机清单,经融合建立杀伤力的假定优先级(包括模糊杀伤力的威胁),之后提供最终的优先级并启动响应。资源管理将接收融合功能及传感器执行情况,提供所有光电子战资源的状况。传感器控制指的是传感器提示和瞄准定向,火控接口可选择,但应能处理从主跟踪数据库得到的准确威胁位置信息等。

5. 融合条件

环境对融合的一般要求如下:(1)必须能适应变化大的威胁环境,并对瞬息万变的战场状况作出响应;(2)必须能同时对许多威胁(各个威胁采用各种不同的搜索和跟踪传感器)进行分类。其自适应控制功能要能控制时间修正和算法选择,并提供传感器状态和传感器提示指令,以使系统能利用各种不同滤波器模型或算法来适应各种不同的威胁。

三、体系结构

1. 融合的形式

信息融合的形式是指以什么方式进行信息融合,分串、并、混联三种,融合形式、控制结构及融合方法不同,系统性能也不同。在串联形式中,每个传感器既有接受信息的功能,又有信息融合集成的作用,方法密切依赖于前一级传感器输出信息的形成。并联方式非常灵活,各个传感器的输入均可可是任何层次的数据,其处理不受传感器处理方式的影响,输出结果可与先前结果无关或是其综合。混联是串联、并联的结合,其形式很多,先串后并,先并后串等等。目前研究讨论最多的是并式,其次是串式。

2. 融合的控制结构

控制结构系指根据信息的来源、处理目标、环境特点和系统的要求,选择并实现控制信息集成过程的总体方案,按传感器状态是否受融合结果反馈控制可分为开环和闭环二种方式。

在闭环方式中,各传感器采集到的战场信息经预处理后传给融合处理机进行判定,利用相应的规则综合处理,作出最终决择或结论,并通过融合的最终或中间决择对传感器工作施以反馈控制;开环方式则无此反馈通道。比较而言,前者能进一步对各种传感器处理方式进行校正,综合考虑传感器组和融合处理机的各种处理方法,故系统性能易于实现或优化;后者则传感器和融合处理机各自的处理方法或算法可相对独立,故组合形式灵活,但系统整体性能要差些,本质上它是一种补偿控制方式。

3. 融合途径

多传感器信息融合一般为多传感器多次测量的信息融合,基本方法如下:

(1)“时空/多传感器”法,先各单传感器在时空上融合其多次测量结果,再把这些融合结果作综合融合。

(2)“多传感器/时空”法,对所有传感器测量结果作某时间或空间融合,然后再集成全部时间或空间上的所有传感器融合结果。

(3)“多传感器时空法”,则是将所有传感器测量结果作时空一次性融合。

它们的性能比较则如下表所列。

Table Performance comparison table for three way

way	implementation	obtainable information	needful calculation resource	system performance
		content	/communication content	
(1)	easy	less	less	low
(2)	medial	medial	medial	medial
(3)	difficult	many	many	high

4. 融合模式

信息融合可分为象素、特征和决策三级模式。象素模式通过规则把来自同一目标的不同传感器信息作相关处理,将相关数据组成单个跟踪过程,提供战术图象;特征级则根据相应的任务和战术图象用先验导出知识精炼、抽取、评估第一级来的图象和其它特征信息,生成战术图象的综合解释,形成当前态势的感知和未来事件的预测表示;决策级,由特征级对各传感器独立作出的决策可信度,利用先验知识、符号推理和自适应方案作出敌对我(友)方部队的威胁能力(意图、杀伤力)等估计,确定可选项选择行动,该级融合要求实时性好,并能在一个或几个传感器失效时继续工作。上述三级处理存在互补、制约关系,各级都要完成某种识别、分类或决择任务。

(1)融合中的不确定性 不确定性是指时间或情况不固定,在数量、数目或程度上确定不了,不能肯定会发生,偶然的,易于变化或突发的,不能确定保持在一个状态或条件下;不精确性是指不严格、不正确,具有误差。

象素级的不确定性。与构造当前势态的图象有关,由传感器不精确、不充分,处理过程不充分,导航误差和时间延滞等造成;传感器数据的陈旧(观测中断或能信系统延时等)和不精确是主要影响因素,实际影响表现在目标数量、位置和识别本身的不确定性上。其中,位置、数量不确定的最明显原因是传感器在传感范围内测量的不精确,包括信息的不完整性,其次是报告航迹的平台与指挥部和融合处理机构的导航偏差,当传感器的分辨率和覆盖范围不同时更为严重,且其不确定性识别的难度将明显地随网络中传感器数目的增加而迅速加大,直接影响到编辑图象的可信度。而识别的不确定性常由识别传感器的数据转换造成。

特征级的不确定性。包括图象产生的不确定性,传感器覆盖范围的不确定性,对敌方认识上的缺乏,环境的不确定性,可能性过多。图象产生的不确定性牵涉到传感器在时空上的覆盖范围、当前图象的完整性、目标位置的不确定性、平台设备安装的知识(传感器和武器类型、性能和战术知识)和事实的不充分。显然改善传感器覆盖范围的计算和显示,将有助于操作人员知晓轨迹图的完整性,使态势评估的任务容易得多。

决策级的不确定性。其影响因素是当前态势的不确定性,约束条件和政策的不肯定,敌方战术的不确定和总优先权的不肯定等等。减少该级不确定性的关键是实现操作自动化。

(2)三级融合算法 三级算法如下所述,实际处理是三级串、并交织协同进行的。

象素级。该级要对各传感器的原始信息采集、分析和预处理,任务是生成目标的位置和性质的多传感器估计处理,提供战术战场环境模型;主要处理困难在多传感器目标和背景要素的测量结果;有助图象融合处理的方法依赖于相应完整的地区图和轨迹图的相关技术,识别主要依赖于现代统计推断方法。象素级融合能保持尽可能多的景物信息,信息处理量大,处理时间长、实时性较差。

处理一般分三步:联想(确定测量与目标间接近的大致数值范围)、相关(依赖联想的目标功能)、指定(目标功能条优)。位置估计常用经典卡尔曼滤波法,改进性质估计则根据信息的特性和信息流中的信息综合点,一般采用贝叶斯统计技术,D-S验证推理和模式识别/图象匹配分类法等。

预处理部分包括噪声象元的平滑(得到滤波图象)、分段(红外滤波图象可采用 Hamadani 等技术分段;距离图象分段是通过使平面拟合于绝对距离图象所包含的三维表面实现,可采用距离图象中心或边缘平面最小二乘拟合法,把亮度大于背景的强图象分区——子系统协调分段,并得到统一的被检区域,寄存和计算出红外图象和距离图象的统计特征量,再作阈值处理,提取成象有用信息,然后将这些信息传给分类器进行目标解释、分类并得出其性质)。上述特征一般包括热点评定、时机、尺寸以及构成目标平面的相对位置和方向,分类可采用基于数据推理的多传感器分类算法,特征由“基本概率分配”或“群分布”函数得出判定,每一个传感器的特征抽取器的输出与一专用的群分布法对应,通过 Dempster 组合规则便能将这些各别的群分布集成成为统一的群分布(由群函数产生数据间隔,再据决择准则对数据间隔作出判定/分类)。决择/估计规则用来处理不确定性和与时间有关的数据,一般是量化的。分类器功能的范例包括:(1)据可信度、精度、使用期限和完整性检查目标质量;(2)标示处理用的低质量目标:包括融合、构成和其原始信息;(3)标示处理用的高质量“非目标”和其原始信息;(4)标示显示用的高质量目标;(5)通过推理按分类数据形式存储战斗命令,对群目标进行分类;(6)由成功分类的群目标生成结构目标,结构目标的特征由战斗命令等级规范及其隶属的群目标得到。

特征级。它对象素级预处理和特征抽取后获得的景物信息(边沿、形状、轮廓、方向、区域和距离等)进行问题特定的、上下关系分析和综合处理,并把结论反馈给较低级以填充未知量,涉及到战术图象所有要素的汇集;较高级的推理模型则用以提供战术决策信息,其中,先验数据库/知识库集及推理机是关键要素。处理包括:态势精炼(精炼处理和解决冲突、不确定信息及说明)、态势抽取(得出态势的结构特点)、态势评估(对重要行为综合评述)、态势预测(利用前面的分析结果作出预测)。常用“预期模板”法,它是军事分析策略或关于如何得出态势评估原理的数字和符号应用,采用面向对象技术、基于知识的方法及分层目标网络等,融合过程由多传感器信息流产生,并导出模板结构,为复合网络或模板假定行为的存在提供证据。特征级的重点是提供所要求的输出,而不仅仅是把所有输入信息组合成一组相容的模型。该级融合,既保留了足够数量的重要信息,又实现了可观的信息压缩,有利于实时处理。

决策级。该级融合在每种传感器相应的处理部件已独立完成了决策或分类任务后进行,完成的工作是根据一定的准则及每个决策的可信度作出最优决择(评估敌方部队的杀伤力和意图处理,核心是评估敌方对友邻部队的威胁能力)。较为实用的是“快速交战模型”,用它从

当前态势中估出未来结局,由此再用于估计损失,得出杀伤力的量化结果;在该级起支持作用的熔合技术同特征级一样,基础是大量先验数据库和知识库支持的符号推理、自适应解决方案(处理一系列意料外的敌方行为、适应知识和推理中的不定因素)。决策级熔合实时性好,还能在一种或几种传感器失效情况下继续工作,具有较好的容错性能。

实现三级信息熔合常用预测/决策、统计、识别等学科中的几种协同技术的知识库系统,一般需在可用资源、系统结构、作战目的之间作出权衡处理。面临的两大问题是需要有大量事实的知识库和人交互作用的首要考虑因素是速度;每一信息熔合的最终处理过程必须是特定应用的处理过程,应由一个信息熔合工具“集”支撑。

5. 光电多传感器组合

(1)激光测距机与热象仪组合 CO₂激光测距机与热象仪可按三种方式组合:机械组合,激光发射系统独立、激光接收与FLIR光学系统合一,FLIR与CO₂激光测距机光路全部合一。在第一种方式中,激光测距机与FLIR两套系统各自独立,用螺栓组合在一起。此种组合简单,但组合系统的体积和重量大,成本高。第二种是将光学系统、探测器和致冷器系统组合,用一套光学系统和探测器致冷器系统代替两套系统,故组合系统体积小、重量轻、成本低,但要考虑带宽匹配和激光斑尺寸与探测器尺寸的失配问题。第三种方式是激光发射、激光接收、热象仪接收共用孔径、共用扫描器和致冷器,即全部合一,此种方式最为理想,但实现难度大。目前常采用第二种方式^[2]。

(2)毫米波传感器与红外传感器组合 图4示出了毫米波与红外传感器的两种组合方式。

第一种为互准线式,毫米波传感器和红外传感器有各自的视线,被调成平行状态,使用分开的孔径。该方式容易建造,成本较低。第二种方式使用一个共用天线,一个大的主反射器把红外和毫米波辐射向下聚焦在第二个反射器上,第二个反射器能传输毫米波能量,但对红外能量形成很高的反射,可分离两种信号并使用分开的探测器遥感它们,组合结构采用共用孔径方式,建造较难,并受到天线罩的限制。

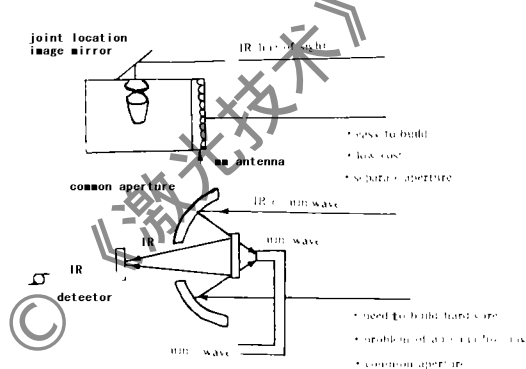


Fig. 4 Combination way of sensors

选择何种组合,取决于武器和使用环境及目标的信号特征,硬件上必须考虑毫米波传感器的整流罩/伞衣,天线结构和收发机特性;选择红外传感器时,必须考虑整流罩、阵列尺寸、波长和冷却方式,作综合权衡。

四、应用举例

图5是英国RSRE准备装备到炮兵前沿指挥所的光电多传感器信息熔合系统。其中,雷达成生成活动目标的探测波束,得出距离、方位角和径向速度数据,方位角分辨率为数十毫弧度,距离分辨率在50m量级,各雷达扫描持续几秒。热象仪为手动控制,由操作员使用一菜单驱动结构进行目标采集、识别并对系统提供线索,以便系统指导操作员监视由其它传感器探测到的活动区域,热象仪方位角和俯仰角的精度为几十毫弧度,激光测距机产生米级精度的距离数据,由它与热象仪结合自动提供热象仪图象的距离信息。热象仪和CO₂激光测距机可用前述

的第二种方式组合。

雷达、雷达支持软件处理输入的雷达探测,生成跟踪段供数据综合系统调用,与其它传感器的数据汇合生成轨迹,采用聚类法和跟踪法,探测聚类法允许跟踪法和数据综合软件将目标群作为目标单体来处理;跟踪法的本质是对所观察的数据和“情景”提出假设,并逐步减少假定成分进行滤波,直到一个特定的解释被

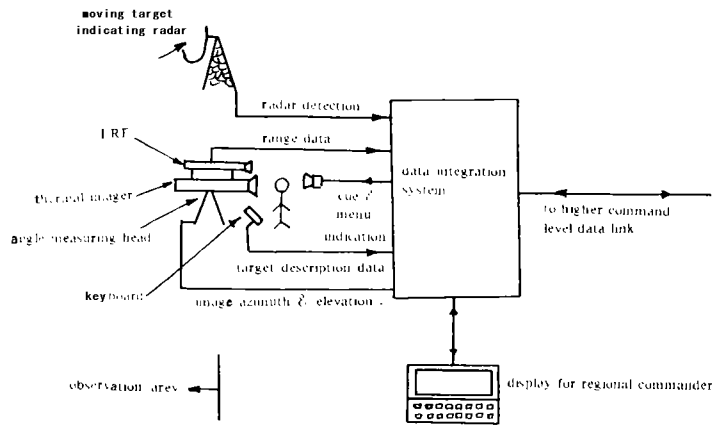


Fig. 5 Schematic diagram of a data integration system

接受为止,其模块处理类在一定时间内由聚类软件生成,跟踪器的主要输出是节点(目标分组和标识的数据结构),表示目标运动中的融合和分解,分离出起始和结束状态,它用匹配法将各新的探测进行轨迹关联由综合软件解释。

热象仪和激光测距机由一名操作员控制,激光测距机的距离数据和安装在一起的一对传感器的角度数据采用数字显示方式,线索提示在目镜上由光学处理获取,热象仪操作者通过目标活动描述菜单键入目标识别信息。

数据综合软件合并多传感器数据,建立一独立的数据库,以表达系统对所视“情景”的观察。这种数据库除了包含最终解释,还生成这一解释的依据细节,以导出一个观察区域内目标运动的完整图象。综合软件的基础是具有内在联系的“连接器”和“标记器”,标记器将热象仪的目标观测和识别与雷达生成的跟踪段相互关联,其它支持信息每作为各具不同优先级的“标记”附在跟踪段上。连接器用于生成目标运动的完整图象,使用跟踪段和与之相关的路径、死区和标记信息,在各自独立的跟踪段间产生联系,其处理本质部分是推断跨进死区的目标运动。跨过死区的连接是通过使用一个合理的判据和与之相关的处理歧义性算法实现,其合理性取决于计划连接部分的跨越时间、标记的匹配性和路径的匹配性。

数据获取系统是一由指挥员显示器(CPO)、更高层指挥数据链路(HIC)和为传感器操作员提示的自动系统。CPO具有生成/显示提示目标最新位置线索的功能、显示信息/增加显示信息、段连接/取消段连接、忽略雷达探测和坐标定位的功能。HIC为一些文字命令,采用二进制数据编码。自动系统为传感器操作员对由雷达操作员探测到的活动区域给出提示,同时为相应的目标位置给出提示,一旦合适,系统通过检查测角头位置和热象仪操作员的相应提示“跟踪”操作员对准目标。

接口包括“应用软件”和“系统软件”接口,前者可选择不同算法和不同的算法参数(跟踪、优化跟踪、连接和标记等),后者提供对系统功能的监控。

该系统是一个集数据采集、综合、评价为一体的便携式系统,可进行实验室演示和概念调查,软件用UNIX系统下的C语言写成,能优化传感器信息流及其表示法,采用了液晶型轻型显示器和低分辨率的单色装置,其改型可与数字彩色地图系统合并。实现了下述功能:(1)传感器支持雷达、热象仪和激光测距机,包括对雷达目标的跟踪;(2)信息综合:活动数据库的格式、合并和解释多传感器的数据;(3)信息提取:给出热象仪的线索,对指挥员的显示功能和更高层指挥功能;(4)系统管理:数据存取及测量信息的存取等。

版权所有 ©

《激光技术》编辑部