

网络中心战作战理念与信息融合技术

朱林¹, 张晓因², 徐兴杰²

(1. 哈尔滨工程大学, 哈尔滨 150001; 2. 空军装备研究院通信所, 北京 100085)

[摘要] 探讨了网络中心战的核心内容, 指出信息融合技术是网络中心战面临的巨大技术挑战之一, 并论述了信息融合技术的主要研究内容, 包括信息融合的功能模型、体系结构、信息融合系统工程及融合的算法, 总结了信息融合技术在国内外的发展现状, 在此基础上, 分析了网络中心战条件下信息融合技术的发展方向。

[关键词] 网络中心战; 作战理念; 信息融合

[中图分类号] TP391.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)03-0069-05

1 前言

信息融合技术要求对来源广泛的传感器输出数据自动进行一致而有效的融合, 提高信息精度, 消除信息冗余, 最终产生具有统一数据形式的准确的高质量信息。它广泛应用于军事、工业控制、管理等部门。尤其是军事领域, 一直都是信息融合技术最重要、最典型、技术要求最高的应用场合之一。近年来随着网络中心战作战理念的提出, 信息融合技术的重要性越来越突显, 成为各类武器装备具有网络中心战能力所面临的巨大技术挑战之一。

2 信息融合——网络中心战面临的巨大技术挑战之一

1997年4月, 美海军作战部长约翰逊上将率先提出网络中心战的作战理念, 它是美国海军根据新的作战任务, 借用商业上成功的利用信息技术进步, 垄断巨大利益的网络中心商业经验, 应用于军事领域发展而来的^[1-3]。网络中心战指的是利用通信系统和计算机系统组成的覆盖全球的信息栅格网, 将各种侦察探测系统、指挥控制系统和武器打击系统有机结合, 形成统一、高效的作战体系, 通

过信息优势达成决策优势进而转化为竞争优势, 实现战场信息高度共享、部队间自动协调同步、作战行动近乎实时、作战效能极大提高的战斗行动的作战样式^[3-6]。这一作战体系由“无缝隙”连接的3个网络组成, 即传感器网络、交战网络和通信网络。传感器网络由分布在陆、海、空、天的各类专用侦察设备和各种武器平台上的嵌入式侦察设备及情报中心等构成, 能迅速提供“战场空间态势图”; 交战网络又称打击网络, 连接各主要武器系统; 通信网络对前两者起支撑作用, 是它们的神经中枢。网络中心战的关键要素有4个:

信息结构 即使各传感器联网的系统, 这是实施网络中心战的基本条件, 其表现形式是完备的天基、陆基、海基、空基信息系统, 而遂行的主要职能是信息融合和信息管理;

作战空间感知 信息结构的建立能大大提高部队的作战空间感知能力, 使各部队能同时了解不断变化的战场态势;

实时协同动作 有了共同的空间感知能力, 能使指挥官采用适应性很强的新指挥控制方式, 加快作战节奏, 真正使部队成为“自我协同部队”;

最终效果 上面三项关键要素导致的最后结果

[收稿日期] 2004-07-27; **修回日期** 2004-08-19

[基金项目] 专项基金资助项目

[作者简介] 朱林(1955-), 男, 山东烟台市人, 空军装备研究院高级工程师, 哈尔滨工程大学博士研究生

使作战节奏加快,反应能力加强,作战风险降低,作战代价减少,作战效能提高。

上述网络中心战比传统的平台中心战更能满足现代战争的需要,它对各类武器装备也提出了更新、更高的要求,如网络化、数字化。要使各类武器能够成功实践网络中心战的作战理念,需要解决以下所面临的技术挑战^[7]:网络复杂性、网络可靠性、关键结点和通信连接、通信带宽、信息融合和过滤、多层次网络安全、兵力控制和决策。其中信息融合是天基、陆基、海基、空基信息系统执行的主要职能,美国空军部长詹姆斯·罗奇认为,信息融合使伊拉克和阿富汗战争变得极为不同,伊拉克战争中的陆军司令官弗兰克将军也充分利用了信息融合技术,并由此真正改变了作战的样式,因此信息融合被誉为赢得现代战争的关键。

3 信息融合的定义及主要研究内容

3.1 信息融合的定义^[8-14]

由于信息融合技术应用的广泛性,对其目前还未有统一的定义。信息融合是针对使用多个和/或多类传感器的一个系统这一特定问题而开展的一种信息处理的新方法,它又被称为多传感器融合/混合、多源相关、数据融合、多源信息融合等。根据学术界的研究,对信息融合比较确切的定义可以概括为:利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。在军事应用上,把信息融合定义为一个对来自多源的信息和数据进行检测、关联、相关、估计和综合等多级多方面的处理过程,以得到准确的状态和身份估计,完整及时的战场态势和威胁估计。按照1998年修正的信息融合JDL(Joint Directors of Laboratories)功能模型,即美国三军政府组织——实验室理事联席会下设的C³技术委员会专门成立的信息融合专家组提出的模型,信息融合定义为一个综合数据来估计和预测实体状态的过程。

3.2 信息融合的主要研究内容

经过30多年,信息融合的理论体系不断完善,形成了自己的研究领域及研究方法。它的主要研究内容包括信息融合的功能模型、体系结构、信息融合系统工程、融合的算法及其应用、系统辅助支持功能的设计、系统需求分析及性能评估方法等。

3.2.1 信息融合的功能模型^[8, 9, 13-20] 信息融

合的功能模型是从融合过程出发,对一个能够运作的信息融合系统必须包括的处理过程的描述,它描述信息融合包括哪些主要功能、数据库,以及进行信息融合时系统各组成部分之间的相互作用过程。与体系结构即结构模型相比,它描述系统功能单元的组成,但并不涉及各单元的软件实现或物理特征。功能模型可由融合任务的要求决定,并决定着系统的结构模型,对信息融合系统的开发有着指导性的作用。到目前为止,已提出了许多种类的功能模型。20世纪80年代提出了3种信息融合功能模型,分别是:情报循环模型(intelligence cycle model)、JDL模型、Body控制环路模型(body control loop model);90年代提出了Dasarathy模型、Waterfall模型及修正的JDL模型。最近,Bedworth又提出一种Omnibus模型。上述模型的一个共同特点是将信息融合处理划分为多个层次,区别在于层次划分的着眼点和划分的详细程度。其中,JDL及其修正的模型是应用最为广泛的模型。

3.2.2 信息融合的体系结构^[8, 9, 12-18] 信息融合系统的体系结构与C⁴ISR的体系结构框架相似,也可用三视图来描述,分别为应用视图(OV)、系统视图(SV)和技术视图(TV),相应的体系结构分别是应用体系结构、系统体系结构和技术体系结构。其中应用体系结构用于描述融合任务、要素以及所要求的信息流;技术体系结构给出为确保所开发的系统满足所给定的功能需求的一套规则、标准的集合;系统体系结构描述了系统及各功能间相互连接的关系,定义了系统的物理结构、主要的节点及节点网络,指定了系统及各组成部分的性能参数,它通过满足技术体系结构中的标准来达到应用体系结构的性能要求。系统体系结构对于信息融合系统的实现具有重要作用,而随着信息融合系统工程方法、数据融合树、资源管理等新方法新概念的提出,需要结合它们研究信息融合系统体系结构设计方法。系统体系结构从信息融合的组成出发,说明信息融合系统的软、硬件组成,相关数据流、系统与外部环境的人机界面等。对结构的描述可能是高层的,如集中式、分级式或分布式,也可能是低层的,如基于黑板结构的系统或基于CORBA的系统等。至于结构的选择应根据具体融合问题的要求而定。

3.2.3 信息融合系统工程^[8, 9, 12] 信息融合首先应作为系统来考虑,不但考虑具体的传感器、融合

算法等资源, 还需考虑系统的构成及调整方法、系统开发的工程方法、目标模型库性能评估方法等, 从资源管理的角度看, 它们都是信息融合系统开发可使用的资源。对于不同的信息融合问题, 可以抽取其中共性的东西, 建立相同的性能评估方法、系统工程方法、结构规范以及目标和系统的模型, 以此作为指导信息融合系统开发的设计准则。但是, 上述工程设计准则缺乏形式化的严格性, 它提供了经验法则, 而不是严格的从产生被选方案到评估、选择方案的实现过程。目前, 人们认识到信息融合应看成一个资源管理系统, 信息融合系统工程的实现问题也即如何利用所有的资源开发和解决所有的状态估计与预测问题, 资源管理为信息融合系统工程提供了一种标准的形式化表示。因此, 信息融合系统工程研究, 从资源管理的角度出发, 针对整个信息融合系统, 建立标准的性能评估方法、系统工程方法、结构规范、目标和系统的模型以及它们的选用方法的信息融合工程的设计准则, 并研究其具体实现方法——资源管理方法。信息融合系统工程的研究将缓减众多应用领域中大量重复研究和开发及融合的术语、方法模糊不清、不统一的现象, 改善信息融合系统的可重用性、开发的经济性等, 为信息融合系统的开发、使用提供一个基础。

3.2.4 信息融合的算法^[9, 13~18, 20~25] 信息融合的算法可分为: 概率统计类, 如最大似然法、贝叶斯法, 主要应用于航迹融合, 目标检测、识别、分类; 不确定性数学类, 如 D-S 证据理论, 应用于目标检测、识别; 模糊数学类; 基于智能理论类, 如人工智能, 专家系统, 人工神经网络, 人工生命、进化计算及其综合; 基于随机集与关系代数类。检测级及位置级融合属较低级别的融合, 参与融合的数据主要是一些同类传感器测取的数值, 如雷达情报, 采用的算法主要是概率统计类, 有贝叶斯理论、N-P 算法、序贯贝叶斯、恒虚警概率检测等检测、判决算法, 数据对准、数据关联、航迹滤波、预测与综合跟踪的算法, 航迹关联及航迹融合算法等。属性级融合属较高级别的融合, 融合在决策层、特征层或数据层上进行, 采用的算法主要有经典推理法、贝叶斯推理、D-S 证据理论、广义证据理论法、层次化描述法、模糊集理论、专家系统、聚类分析法、神经网络法、参数模板法、最大似然估计法等。态势评估级及威胁估计级的融合属高级别的融合, 参与融合的信息包含有前几层融

合结果的目标状态、分类信息以及各类数据库情报, 采用的算法主要有经典推理、模糊逻辑推理、专家系统、基于对策论与决策论的评估方法等。

4 国内外信息融合技术的发展现状

4.1 国外信息融合技术的发展现状^[8, 12~14, 22]

信息融合的研究始于 1970 和 1971 年, 当时讨论的是多站航迹相关问题。在 1973 年, 美国开展了声纳信号解释系统的研究, 其间出现了数据融合一词, 到 20 世纪 70 年代末开始大量出现, 至今还经常应用。80 年代, 随着传感器种类、数量以及多传感器系统的增加, 信息融合的研究成了军事和民用多方面所关心的问题。1988 年, 美国国防部把信息融合技术列为 90 年代重点研究开发的 20 项关键技术之一, 且列为最优先发展的 A 类。从 1987 年起, 国际雷达、控制与判决、信号处理等学术会议不断地报导信息融合领域的最新研究和应用开发成果。1998 年成立了国际信息融合学会 (International Society of Information Fusion), 每年举行一次信息融合国际学术大会, 鉴于“信息”一词普遍使用, 在 1998 年的国际会议上提出了更为广义的概念“信息融合”。作为对该领域研究成果的系统总结, 1985 年以来, 国外先后出版了 10 余部有关信息融合技术的专著。

在军事应用上, 从 20 世纪 80 年代以来, 美国三军总部对应用信息融合技术的战术和战略监视系统一直给予高度的重视。美国国防部从海湾战争中实际体会到了信息融合技术的巨大潜力, 在海湾战争结束后, 更加重视信息自动综合处理技术的研究。美国三军、政府组织——实验室理事联席会 (JDL) 下设的 C³ 技术委员会 (TP C³) 专门成立了信息融合专家组来组织和指导有关工作, 还将通信局改为信息局, 在 C³I 中增加了计算机, 建立以信息融合中心为核心的 C⁴I。目前国外已有上百种军用信息融合系统, 如美国的陆军全球军事指挥控制系统信息系统 (AWIS)、非合作性目标识别 (NCTR)、合成部队指挥与控制 (CAC2)、全源信息分析系统 (ASAS)、敌方态势估计 (ENSCE)、多平台多传感器跟踪信息相关处理系统 (INCA) 等。美、英等国家研制的典型海军用信息融合系统有: 海面监视信息融合专家系统 (OSIF)、海军指挥控制系统 (NCCS)、舰艇编队多传感器信息融合系统 (IKBS)、潜艇作战自动化系统, 这些系统

均属于人工智能专家系统。苏联解体后,美国对《关键技术计划》作了适当的调整和合并,仍包含信息融合。在美国防部新确立的“七大推动力技术”的采办计划中,第一项特别强调“带有先进信息融合与处理能力”的全球监视与通信系统,表明信息融合技术已经成为军事装备先进性的主要标志之一。在取得上述成果的同时,他们在信息融合系统工程方面也取得了很大的发展,进行了系统工程方法、系统性能评估方法等技术的研究,并渐趋成熟。为提高所开发的信息融合系统的可重用性、经济性、互联性,建立了指导系统开发的工程设计指导原则,如美国空军司令部组织研究提出的《Data Fusion System Engineering Guidelines》,已成功地应用到多种信息融合系统中。

4.2 国内信息融合技术的发展现状^[13, 14, 22]

国内从20世纪80年代初起,人们开始从事多目标跟踪技术研究,到了80年代末才开始出现有关信息融合技术研究的报导。90年代初,这一领域在国内才逐渐形成研究高潮,开始广泛从事这一技术的研究工作,出现了一大批理论研究成果。90年代中期,信息融合技术在国内已发展成为多方关注的关键技术,出现了许多热门研究方向,如机动目标跟踪、分布检测融合、多传感器多目标跟踪与定位、分布信息融合、目标识别信息融合、态势评估与威胁估计,相继出现了一批多传感器多目标跟踪系统和有初步综合能力的信息融合系统,但主要集中于检测级、位置级和数据层、特征层的目标识别融合,对于决策层目标识别、态势评估、威胁估计级的融合,还主要处于理论研究阶段。系统的信息综合能力还比较低,系统很少有效地采用人工智能技术。此外,国内关于信息融合技术研究主要集中于融合的理论算法研究,缺少对总的理论框架、控制结构、系统工程方法、辅助支持功能等研究,还不存在一个完整的设计指导原则,所开发的系统不具有可比性、可重用性的现象严重。

5 网络中心战条件下信息融合技术的发展趋势分析

国内信息融合技术的发展水平与国外发达国家相比,还有差距,但近年来,也涌现出了一大批多传感器多目标跟踪系统和有初步综合能力的信息融合系统。随着网络中心战作战理念的提出,信息融合技术是天基、陆基、海基、空基信息系统遂行的

主要职能,是各类武器装备具有网络中心战能力所面临的巨大技术挑战之一,针对其目前的发展现状,可考虑以下几个发展方向。

首先,对多数已开发的属于检测级、位置级和目标识别级融合的系统,其中的结构、功能、算法模型需要针对工程实现进行充实和完善,引入新算法,提高系统信息融合的准确性、实时性。如在多传感器分布检测研究中,在各传感器性能时变的情况下,自适应估计各传感器性能并进行分布式检测融合研究,在信号参数模糊和随机变化下的分布式检测融合问题研究和微弱信号的检测融合研究。在多传感器综合跟踪算法研究中,许多单传感器多目标跟踪算法推广到多传感器系统中的研究,人工神经网络、模糊逻辑与模糊推理及其相结合的算法如何与经典的基于概率统计数学的算法相结合应用于航迹融合。在异类多传感器信息融合技术的研究中,如何利用各传感器信息进行航迹起始,如何综合利用位置、动态及特征和属性参数改善目标跟踪性能,如何合理利用互补信息以改善对目标的识别以及如何实现检测跟踪的联合优化等问题研究。

其次,针对决策层目标识别问题、态势评估、威胁估计等具有的强信息综合能力的信息融合系统,需要研究相关的经典算法及新型算法,如证据理论、模糊推理、专家系统、神经网络及它们相结合的算法,解决其技术关键并进而工程实现,使信息融合系统的信息综合能力提高到新的水平。

第三,需要研究建立标准的性能评估方法、系统工程方法、结构规范、目标和系统模型以及它们的选用方法的信息融合工程的设计指导原则,以提高信息融合系统的可重用性、经济性、互连性。并且可以进一步改进信息融合工程的设计指导原则,为资源管理制定相应的指导方针,系统工程形式化的研究理论,融合任务动态变化条件下信息融合的自适应功能模型;在不同粒度上协调资源管理方法和信息融合方法等。

参考文献

- [1] K Cebrowski, J Garstka. Network-centric warfare: its origin and future [J]. U S Naval Institute Proceedings, 1998, 124 (1): 8~35
- [2] 刘笑妍译. 网络中心战的起源与未来 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 1999, (1): 18~25
- [3] 和成系统有限公司. 打造中国的网络中心战体系 [EB/OL]. <http://www.isl.com.cn/download/network%20centric%20war.pdf>, 2004-07-12

- [4] John J Garstka. Network centric warfare: an overview of emerging theory [EB/OL]. <http://www.mors.org/publications/phalanx/dec00/feature.htm>, 2004-07-10
- [5] Naval War College. Network centric warfare [EB/OL]. <http://www.nwc.navy.mil/library/3Publications/Eccles%20Library/LibNotes/libnetwork.htm>, 2004-07-09
- [6] David S Alberts, John J Garstka, Richard E Hayes, David A Signori. Understanding Information Age Warfare [M]. Washington: CCRP Publications, 2001
- [7] 史越东编译. 网络中心战面临的技术挑战 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2001, (6): 1~3
- [8] Alan N Steinberg, Christopher L Bowman, E White. Revisions to the JDL data fusion Model [A]. Proceedings of SPIE—Volume 3719, Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications III [C], Bellingham, USA, 1999. 430~441
- [9] David L Hall, James Llinas. Handbook of Multisensor Data Fusion [M]. Boca Raton, Fla: CRC Press, 2001
- [10] 竺南直, 朱德成. 指挥自动化系统工程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001
- [11] 刘曙光, 程万祥. C³I 系统开发技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1997
- [12] 许锦洲, 管强, 王玲玲. 数据融合系统工程 [J]. 海军工程大学电子工程学院学报, 2002, 71 (4): 5~10
- [13] 何友, 王国宏, 彭应宁, 等. 多传感器信息融合及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000
- [14] 刘同明, 夏祖勋, 解洪成. 数据融合技术及其应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [15] Llinas J, Waltz E. Multisensor Data Fusion [M]. Boston, London: Artech House, 1990
- [16] Hall D L. Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion [M]. Boston, London: Artech House, 1992
- [17] 赵宗贵, 耿立贤, 周中元, 等编译. 多传感器数据融合 [M]. 南京: 电子工业部二十八研究所, 1993
- [18] 赵宗贵编译. 数据融合方法概论 [M]. 南京: 电子工业部二十八研究所, 1998
- [19] 李明国, 郁文贤, 庄钊文, 等. C⁴ISR 系统信息融合模型研究 [J]. 火力与指挥控制, 2002, 27 (1): 8~10
- [20] 张晓刚, 刘进忙, 刘昌云. 分布式 C³I 系统信息融合技术研究 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2002, (11): 35~41
- [21] 权太范. 信息融合神经网络—模糊推理理论与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002
- [22] 董志荣. 再论信息融合 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2002, (11): 30~34
- [23] 孟章荣. 军事应用中的多源信息融合技术 [J]. 现代防御技术, 2001, 29 (2): 27~30
- [24] 赵红艳译. 美国海军用基于知识的实时系统进行态势评估 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2000, (7): 17~32
- [25] 夏建涛, 任震, 景占荣. 防空 C³I 雷达情报网数据融合算法的研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22 (5): 17~18

Network Centric Warfare Operational Concept and Information Fusion Technology

Zhu Lin¹, Zhang Xiaonan², Xu Xingjie²

(1. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. The Communications Institute of Air Force Equipment Academe, Beijing 100085, China)

[Abstract] This paper discusses the key content of network centric warfare. It is pointed out that the information fusion technology is one of the biggest challenges, which network centric warfare faces. Also, the main research topics of information fusion technology are discussed. They are the function model, the architecture, information fusion system engineering and arithmetic. The developing actuality of the information fusion technology at home and overseas is concluded. At last, the paper analyzes the developing directions of information fusion technology for the network centric warfare.

[Key words] network centric warfare; operational concept; information fusion