

国外信息技术优秀图书选译



分布式数据融合

——网络中心战应用

Distributed Data Fusion for Network-Centric Operations

David L. Hall Chee-Yee Chong James Llinas Martin Liggins II 主编

史习智 欧阳华 郭 菁 徐 明 译

高等教育出版社

国外信息技术优秀图书选译

FENBUSHI SHUJU RONGHE

——WANGLUO ZHONGXINZHAN YINGYONG

分布式数据融合

——网络中心战应用

Distributed Data Fusion for Network-Centric Operations

David L. Hall Chee-Yee Chong James Llinas Martin Liggins II 主编

史习智 欧阳华 郭 菁 徐 明 译

高等教育出版社·北京

图字:01-2013-2767号

Distributed Data Fusion for Network-Centric Operations/David L. Hall, Chee-Yee Chong, James Llinas and Martin Lig-
gins II

© 2013 by Taylor & Francis Group, LLC

All Rights Reserved.

Authorized translation from the English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下 CRC 出版公司出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。

Higher Education Press Limited Company is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (simplified characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由高等教育出版社有限公司独家出版并仅限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

分布式数据融合:网络中心战应用/(美)豪尔
(Hall, D. L.)等主编;史习智等译.--北京:高等教
育出版社,2016.2

书名原文:Distributed Data Fusion for Network-
Centric Operations

ISBN 978-7-04-044258-8

I. ①分… II. ①豪… ②史… III. ①分布式数据处
理 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 275742 号

策划编辑 刘英

责任编辑 刘英

封面设计 杨立新

版式设计 杜微言

插图绘制 杜晓丹

责任校对 刘娟娟

责任印制 耿轩

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印刷 北京市大天乐投资管理有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 26.25

字数 540千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

版次 2016年2月第1版

印次 2016年2月第1次印刷

定价 79.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 44258-00

中文版序

在《分布式数据融合——网络中心战应用》中文版即将出版发行之际,作为合作编者和特约作者,我很高兴为该书写此序。

该书是宾夕法尼亚州立大学的 David L. Hall 教授、英国宇航系统公司的 Chee-Yee Chong 博士、Mitre 公司的 Martin Liggins 博士和我自己共同努力的结果,也是我们为数据和信息融合学术界所做的持续贡献的一部分。因为分布式框架涉及许多新的计算环境,正如标题所示,本书专注于分布式信息融合的一个特定方面,即国防和安全问题。但是,分布式计算环境也同样地普遍存在于许多现代应用领域之中。本书的中译本为中国学术界的广大同事提供了一份新的参考,希望该书能对中国的信息融合研究工作的积极进展给以进一步的支持。在过去的 5 年中,有数十篇相关文献发表,有数十位中国学者参加 2014 年的信息融合国际会议(西班牙)表明中国的进步,我们为此感到高兴。

我和我的同事真诚地感谢上海交通大学史习智教授主持了本书的翻译计划。我们相识于 2000 年信息融合国际会议(巴黎),多年的友谊成为本项工作的基础。史教授和同事欧阳华教授,以及郭菁女士和徐明女士共同承担了艰巨的翻译任务。也要感谢董广明博士、博士生谢海润和饶柱石教授的参与。最后,要感谢上海世雄国际关系交流中心史璞研究员对本计划的推动。

James Llinas 教授,主任
纽约州立大学布法罗分校
2014 年 9 月

谨以此纪念 M. J. Hall

David L. Hall

献给我的家庭

Chee-Yee Chong

献给我的妻子 Sarah, 她禅一般的耐心令人惊奇

James Llinas

致我的孙儿 Austin、Ryan 和 Jacob

Martin Liggins II

前 言

我很高兴为有关分布式融合的新近工作写这个前言。在过去的 15 年中,我一直参与融合方面的研究,关注支持更有效决策的变换数据。在那段时间里,我很看重本书的编撰人和多位章节供稿人的建议,从而帮助我确定了陆军所关注的基本和应用信息融合初期工作的方向。

约 12 年前,在一次由陆军赞助的讨论会上,我遇见了几位编撰人。当时已很清楚的是,日益增多的传感器和数据源以及基于万维网的信息体系结构的引入已经最终地颠覆了分析学术界。大多数讨论都关注这些问题,而 Dave Hall 和 Jim Llinas 已开始着手问题的解决办法。他们明确了相关的术语和定义,列出特定融合任务的算法,着手解决许多结构体系问题,指出关键的技术壁垒,并提出了未来的研究方向。显然,他们是长期从事该领域研究的专家,更重要的是,他们对于信息管理的快速发展趋势以及这些趋势对于数据融合领域的影响具有远见卓识。因此,他们(与同事一起)出版的最新著作专注于分布式融合就不足为奇了。

虽然通常来说,在数据融合方面已经有了很多的文本和手册(大多数也是本书编撰人和作者的作品),但是,两大发展趋势激发了对本书的需求。首先,国防行动的这一概念发生了翻天覆地的变化。现代军事任务包括:比如,联合平定叛乱、联手禁毒、联合反恐及维和行动等。某种意义上,这个问题变得更为复杂了。重点不在于检测即将到来的坦克营实体,而是更多地在于运作情况或异常事件的检测网络,并使其与社会文化概念集成在一起。它带来的冲击是,过去的融合算法对大型系统、传感器数据驱动和集中处理技术的依赖,现在必须适应观察人员、开放的信息源以及在越来越低的梯阵做出分布式决策的需求。

另一个关键的趋势是,信息技术的快速发展使得移动信息体系成为可能,从而改变了我们关于融合算法在何处以及如何得以应用的观念。例如,截至 2012 年 2 月,全球有 59 亿手机用户、12 亿移动网络用户和 109 亿项本地下载应用。虽然在军用移动专设网络环境下实现面向服务的体系(SOA)和云的概念仍然是有问题的,但是,上述手机上网的趋势清晰地确立了国防部的远见。

这些趋势对融合技术的影响包括以下的需求:

- 近实时的计算速度:传统概念上,一个战斗员在执行任务过程中,多半是独立的,只是偶尔与分析中枢进行联系以更新数据,这样的方法已不再可行。单个战斗员将需要随时访问数据源。这意味着,若要有效地支持战术行动,融合算法必须以近实时速度运行并且能够匹配用户的态势。换句话说,我们必须开始以小规模、用户自适应的融合应用来取代大规模的融合算法理念。

- 容纳多元化的数据源:数据用户不仅要能够访问数据,也要能够采集并且发布图像、语音、文本信息等。伴随这些功能而来的是数据量的上升和复杂性的增加。融合算法必须要处理结构的、半结构的和非结构的各类数据源,以支持态势知晓。此外,这些算式必须依靠数据挖掘技术而不是依靠预先推定的一定范围的数据访问。否则,就可能忽略对决策过程至关重要的新的数据源。

- 信任与信心概念的结合:随着数据源和用户变得更广泛多样,融合算法必须能够考虑到与软数据源应用相关的不确定性,对原先采集范围以外问题的数据应用,以及可能引入的有意或无意误导的数据源。

因此,要使得融合算法能应用于更复杂的问题、使用更复杂的数据源,并依然能够满足近实时计算的要求,我们要如何做?分布式处理提供了一个潜在的解决方案。该方案非常适合于云计算的概念,其中,算法自动分布于所有可用的资源。然而,现实情况是,我们目前的融合算法尚不适合于并行技术。因此,以本书为起点,来解决分布式、分散的信息融合在设计和实现过程中的难题,是再合适不过了。

本书的写法特别注重于与国防部读者直接有关的选题。这里列出了许多关键问题,诸如体系设计和网络中心战和 SOA 概念的影响;估计、分类、跟踪和威胁分析的基本原理及其扩展至分散实现;可视化与评估的人-中心技术;以及融合系统工程的基本原理。

正如编撰人的典型风格,这些章节提供了对该领域从理论到应用研究的全面而透彻的评论。本书肯定会成为融合领域研究人员与从业者一本有用的工具书。

Barbara D. Broome 博士

信息科学部主任

美国陆军研究实验室

阿德菲研究中心

阿德菲,马里兰

致 谢

作者和编者对 Rita Griffith 为保证本书的成功完成所做的卓越编辑、后勤和行政支持表示由衷谢意。

编者简介

David L. Hall, PhD, 美国宾夕法尼亚州立大学信息科学技术(IST)学院院长, IST 教授,网络中心认知和信息融合(NC2IF)中心主任。加入 IST 之前,他是宾州应用研究实验室的副主任。以此角色,他指导一个 175 位科学家和工程师的跨学科团队进行信息科学、导航研究、系统自动化和通信科学的研究。Hall 博士具有工业经历,包括作为独立研究和开发(IR&D)部门的负责人、领导雷神公司 HRB 分部软件信号处理团队、计算机科学公司导航分析部经理和麻省理工学院林肯实验室研究员。Hall 博士是 200 余篇科技论文和多本专著的作者,专著包括 *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion* (2004) 和 *Human-Centered Information Fusion* (2010)。他是 IEEE 会士,由于对多传感器数据融合领域的贡献而获得过美国国防部 Joseph Mignona 奖。Hall 博士以多传感器数据融合、人工智能、研究管理和技术预测等为题的演讲在国际上享有盛誉。

Chee-Yee Chong, PhD, 英国宇航系统公司(BAE Systems)技术解决方案首席科学家。他曾获麻省理工学院电机系的学士、硕士和博士学位。在加入美国加州一家小的先进研究公司 Advanced Decision Systems (ADS)之前,他在阿特兰大的乔治亚理工学院任教。在收购 ADS 的 Booz Allen Hamilton 和随后 BAE Systems 收购的 ALPHATECH 机构中,他继续指导跟踪和融合研究。Chong 博士的研究兴趣包括集中式和分布式估计、目标跟踪、信息融合、最优化和资源管理以及实际问题应用。自从 20 世纪 80 年代参与美国国防部高级研究计划局(DARPA)的分布式传感器网络(DSN)计划起,他从事分布式融合研究已超过 25 年之久。他是国际信息融合学会(ISIF)的发起人之一,2004 年起任学会主席,自 2009 年起任第 12 届国际信息融合会议的大会副主席。他也担任 *IEEE Transactions on Automatic Control* and the *International Journal of Information Fusion* 副主编。目前,他担任 *Journal of Advances in Information Fusion* 的地区编辑。2005 年,Chong 博士获得美国国防部实验室联合董事会(JDL)数据融合组的 Joseph Mignogna 数据融合奖。

James Llinas, PhD, 美国纽约州立大学布法罗分校的名誉退休教授,也是多源信

息融合中心的(CMIF)的名誉退休主任。20年前,他在布法罗分校建立了研究中心。作为一位数据融合专家,他合著了该主题的第一本著作 *Multisensor Data Fusion*, 由 Artech House 出版(1990)。20多年来,他在多国做了主题演讲。10多年来,他也是美国国防部实验室联合董事会数据融合小组的技术顾问。

他是国际信息融合学会(ISIF)的创建主席。他具有丰富的将数据融合技术应用于不同问题领域的经验,应用领域从复杂的国防和智能系统到非国防的诊断问题。现有课题涉及自动化推理、分布式数据融合、硬/软数据融合、信息融合体系结构和数据相关的科学基础。他具有应用统计学和工业工程的博士学位。

Martin E. Liggins II, MITRE 公司工程师,具有 20 余年从事工业和国防部研究开发的经历,研究领域包括传感器和数据融合、多传感器和多目标跟踪、雷达、高性能计算以及项目管理。他发表了 30 余篇科技研究论文,也是 *Handbook of Multisensor Data Fusion* (第 2 版)一书的合编者。Liggins 曾担任传感器和数据融合国内研讨会(1995 年、2002 年和 2003 年)的主席,并且是 1990 年以来活跃的资深委员。1992 年以来,他活跃于信号处理、传感器融合和目标识别主题的 SPIE Aerosense 会议。2002 年和 1989 年,他分获融合研究的 Veridian 论文奖和多谱融合技术成果的首次罗马航空研发中心 John J. Toomay 少将奖。

合 作 者

Viswanath Avasarala 通用电气研究中心 尼什卡纳,纽约州	Subrata Das 机器分析股份有限公司 贝尔蒙特,马萨诸塞州
Abder Benaskeur 防务研究与开发公司加拿大瓦尔卡蒂埃分公司 瓦尔贝尔埃,魁北克省,加拿大	Hugh Durrant-Whyte 澳大利亚国立信息通讯技术研究中心 悉尼,新南威尔士州,澳大利亚
Ann Bisantz 纽约州立大学布法罗分校 工业与系统工程系 多源信息融合中心 布法罗,纽约州	Jesus Garcia 马德里卡洛斯三世大学 计算机科学系 马德里,西班牙
Christopher Bowman 数据融合与神经网络 布鲁姆菲尔德,科罗拉多州	Juan Gomez-Romero 马德里卡洛斯三世大学 计算机科学系 马德里,西班牙
Federico Castanedo 德乌斯托大学 德乌斯托技术研究院 毕尔巴鄂,西班牙	David L. Hall 宾夕法尼亚州立大学 信息科学与技术学院 大学公园,宾夕法尼亚州
Kuo-Chu Chang 乔治梅森大学 系统工程与运筹学系 费尔法克斯郡,弗吉尼亚州	Hengameh Irandoust 防务研究与开发公司加拿大瓦尔卡蒂埃分公司 瓦尔贝尔埃,魁北克省,加拿大

续表

Chee-Yee Chong 英国航空航天系统公司 洛斯阿尔托斯,加利福尼亚州	Michael Jenkins 纽约州立大学布法罗分校 工业与系统工程系 多源信息融合中心 布法罗,纽约州
Nick Jennings 南安普顿大学 电子与计算机科学学院 南安普顿,英国	Jakub J. Moskal VISTolog 公司 弗雷明汉,马萨诸塞州
Froduald Kabanza 舍布鲁克大学 信息系 舍布鲁克,魁北克省,加拿大	Tracy Mullen Restec 公司 贝尔丰特,宾夕法尼亚州
Mieczyslaw M. Kokar 东北大学 电气与计算机工程系 波士顿,马萨诸塞州	Eric Nettleton 悉尼大学 澳大利亚机器人中心 悉尼,新南威尔士州,澳大利亚
James Llinas 纽约州立大学布法罗分校 工业与系统工程系 多源信息融合中心 布法罗,纽约州	David Nicholson 英国航空航天系统公司 布里斯托,英国
Ronald Mahler 统一数据融合科学有限公司 伊根,明尼苏达州	Ruixin Niu 弗吉尼亚联邦大学 电气与计算机工程系 里士满,弗吉尼亚州
Engin Masazade 锡拉丘兹大学 电气工程与计算机科学系 锡拉丘兹,纽约州	Miguel A. Patricio 马德里卡洛斯三世大学 计算机科学系 马德里,西班牙
Jose M. Molina 马德里卡洛斯三世大学 计算机科学系 马德里,西班牙	Jonathan Pfautz 查尔斯河分析有限公司 剑桥,马萨诸塞州

续表

Shozo Mori 英国航空航天系统公司 洛斯阿尔托斯,加利福尼亚州	Priyadip Ray 杜克大学 电气与计算机工程系 达勒姆,北卡罗来纳州
Jeff Rimland 宾夕法尼亚州立大学 信息科学与技术学院 大学公园,宾夕法尼亚州	Steven Reece 牛津大学 牛津,英国
Stephen Roberts 牛津大学 牛津,英国	Kedar Sambhoos 纽约州立大学布法罗分校 工业与系统工程系 多源信息融合中心 布法罗,纽约州
Alex Rogers 南安普顿大学 电子与计算机科学学院 南安普顿,英国	Paul Thompson 悉尼大学 澳大利亚机器人中心 悉尼,新南威尔士州,澳大利亚
Jean Roy 防务研究与开发公司加拿大瓦尔卡蒂埃分公司 瓦尔贝尔埃,魁北克省,加拿大	Brian E. Ulicny VISTolog 公司 弗雷明汉,马萨诸塞州
	Pramod K. Varshney 锡拉丘兹大学 电气工程与计算机科学系 锡拉丘兹,纽约州

目 录

第 1 章 分布式数据融合展望	1
1.1 导论	1
1.2 数据融合的简要历史	2
1.3 JDL 数据融合过程模型	3
1.4 数据融合的过程模型	5
1.5 变化的前景:影响数据融合的关键趋势	8
1.6 分布式数据融合的启示	11
参考文献	11
第 2 章 分布式数据融合——总体设计要点和一些新方法	16
2.1 概述	16
2.1.1 内容	16
2.2 DDF 系统概念	17
2.3 DDF 设计要点	17
2.4 信息回收	18
2.4.1 有界协方差膨胀	18
2.4.2 耦合标量	20
2.4.3 分散跟踪案例	20
2.5 传感器协调	21
2.5.1 最大和算法	22
2.5.2 目标跟踪范例	23
2.6 自私的利益相关者	25
2.6.1 问题描述	26

2.6.2 估值函数	27
2.6.3 机制	28
2.6.4 实例	29
2.7 信任和信誉	30
2.7.1 合同的期望效用	30
2.7.2 异构合同:膨胀的独立 β 分布	31
2.7.3 异构合同:卡尔曼滤波器信任模型	32
2.7.4 实证评价	33
2.8 未来的设计问题和机会	35
2.8.1 HAC 设计问题	35
2.8.2 HAC 机遇	36
致谢	37
参考文献	37
第3章 网络中心概念——对分布式融合系统设计的冲击	39
3.1 引言	39
3.2 价值链概念	40
3.3 价值链过程	41
3.4 决策中的信息价值	42
3.5 融合的作用(1)	43
3.6 意义构建	44
3.7 意义构建的性质和过程	46
3.8 融合的作用(2)	49
3.9 价值链中的自组织和自同步	49
3.10 意义建构、命令和控制中的复杂性	50
3.11 总结	52
参考文献	52
第4章 无线传感器网络中的分布式检测	55
4.1 前言	55
4.2 理想信道上的分布式检测	56
4.2.1 贝叶斯公式	58
4.2.2 Neyman-Pearson 公式	59

4.2.3 融合规则设计	60
4.2.4 渐进制度	61
4.2.5 计数规则	62
4.2.6 基于虚警率的传感器决策规则	63
4.2.7 相关决策	67
4.3 非理想信道上的分布式检测	69
4.3.1 具有部分信道状态信息的分布式检测	71
4.3.2 无信道状态信息的分布式检测	72
4.4 结论	73
参考文献	74
 第5章 分布式估计基础	 80
5.1 引言	80
5.2 分布式估计的结构	81
5.2.1 融合结构图	81
5.2.2 信息图	83
5.2.3 信息通信和公共的先验知识	86
5.2.4 选择合适的结构	88
5.3 贝叶斯分布式融合算法	88
5.3.1 分布式贝叶斯估计的问题和解	88
5.3.2 用于高斯随机向量的贝叶斯分布	90
5.4 用于不同结构的优化贝叶斯分布融合	91
5.4.1 分层结构	91
5.4.2 任意分布式融合结构	92
5.5 次优贝叶斯分布式融合算法	93
5.5.1 朴素融合	93
5.5.2 通道滤波器融合	93
5.5.3 Chernoff 融合	94
5.5.4 Bhattacharyya 融合	95
5.6 高斯分布或有误差协方差估计的分布式估计	95
5.6.1 最大后验融合或最佳最小无偏估计	96
5.6.2 互协方差融合	96
5.7 目标跟踪中的分布式估计	97

5.7.1 确定性动力学	97
5.7.2 非确定性动力学	98
5.8 目标分类的分布式估计	99
5.8.1 分布式目标分类结构	99
5.8.2 分布式分类算法	100
5.9 总结	100
5.10 参考文献注释	100
参考文献	101
第6章 分布式目标跟踪的本质——航迹融合和航迹关联	104
6.1 引言	104
6.2 航迹融合	105
6.2.1 单次航迹融合	105
6.2.2 重复航迹融合	119
6.3 航迹关联	126
6.3.1 航迹关联问题的定义	126
6.3.2 航迹关联度量指标	127
6.3.3 航迹关联度量指标的比较	129
6.4 结论	131
参考文献	131
第7章 分散式数据融合——公式和算法	136
7.1 分散式数据融合介绍	136
7.2 信息形式介绍	136
7.3 分散式融合及通信	138
7.3.1 树网络拓扑,通道缓存	138
7.3.2 相关信道滤波器方法	140
7.3.3 小结	143
7.4 动态系统	143
7.4.1 状态动力学	144
7.4.2 分散式数据融合中的动态特性	147
7.4.3 小结	152
7.5 有冗余的 k 树拓扑和动态网络	153