



# 多源信息融合技术与 应用研究

DUOYUAN XINXI RONGHE JISHU YU  
YINGYONG YANJIU

张佑春◎著



 安徽师范大学出版社


安徽省高校优秀青年人才支持计划重点项目（多传感器信息融合的心血管疾病  
智能诊断算法优化与监护系统研究，项目编号：gxyqZD2016438）资助  
安徽省高校自然科学研究重点项目（宽频带压电式流体能量采集器研究，项目  
编号：KJ2016A082）资助

# 多源信息融合技术与

DUOYUAN XINXI RONGHE JISHU YU  
YINGYONG YANJIU

# 应用研究

张佑春◎著

 安徽师范大学出版社  
· 芜湖 ·

责任编辑：吴毛顺

装帧设计：桑国磊

### 图书在版编目（CIP）数据

多源信息融合技术与应用研究 / 张佑春著. — 芜湖：安徽师范大学出版社，2017.6

ISBN 978-7-5676-2914-1

I. ①多… II. ①张… III. ①信息融合-研究 IV. ①G202

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第113954号

## 多源信息融合技术与应用研究

张佑春 著

出版发行：安徽师范大学出版社

芜湖市九华南路189号 安徽师范大学花津校区 邮政编码：241002

网 址：<http://www.ahnupress.com/>

发行部：0553-3883578 5910327 5910310(传真) E-mail: [ascdbsfxb@126.com](mailto:ascdbsfxb@126.com)

印 刷：虎彩印艺股份有限公司

版 次：2017年6月第1版

印 次：2017年6月第1次印刷

规 格：880 mm × 1230 mm 1/32

印 张：3.875

字 数：104千字

书 号：ISBN 978-7-5676-2914-1

定 价：28.00元



凡安徽师范大学出版社版图书有缺漏页、残破等质量问题，本社负责调换。

# 前 言

随着信息技术在各个领域的深入渗透，有效地运用传感器所提供的信息进行信号的综合处理，提高系统的性能，满足系统完成各种复杂任务显得愈来愈重要。尤其在智能控制系统中，要求系统能够快速地获取周围环境的信息并对这些信息加以解释和处理。多源信息融合技术是指融合来自多种信息源的信息，综合分析得到周围环境稳定可靠的信息，使得系统不仅具有多级别、多方面和多层次的信息处理能力，而且具有良好的容错性，从而有效地提高系统信息处理的速度和决策的正确性。

本书在分析国内外相关技术发展现状的基础上，对多源信息融合理论做了较为详细的介绍，分析了几种融合方法的优缺点，并以心音、脉搏等传感器为信息源，研究开发出一套多源信息监护系统。该系统综合运用D-S证据理论和BP神经网络，有效地提升了系统自身的快速性、实时性和稳定性。

系统硬件设计方面，以SamSung公司ARM920T内核的S3C2410A嵌入式微处理器为控制核心，外围扩展存储模块（包括程序存储器NOR Flash、SDRAM、数据存储器SD卡等）、电源模块、信号采集及调理模块、液晶显示模块、报警模块等。硬件系统设计还包括键盘电路、时钟电路、复位电路、JTAG调试电路等。

系统软件设计方面，以图形化虚拟仪器开发软件LabVIEW为平台，开发出了友好的监护系统界面，主要有实时采集界面、信号分析界面和记录管理界面。系统软件设计主要实现心音、脉搏信号的采集、显示、信号处理、特征提取、存储、回放等功能。

系统数据存储方面，采用了数据库技术，研究开发了病员管理数据库。考虑到监护系统对数据库实时访问的要求，运用 LabSQL 实现对数据库的访问，数据库选用小型桌面关系型数据库管理系统——Microsoft Access。

本书综合运用了多源信息融合技术、神经网络技术、数字信号处理技术、数据库技术等。设计的监护系统，通过数字化心音、脉搏波等传感器，采集与心血管健康相关的心音、脉搏波等信号，经过计算机的处理与分析获取心音、脉搏等特征参数，利用智能化的信息融合方法诊断人体的心血管功能是否正常。整个系统本身具有无创伤、实时性好等优点。

本书可作为高等院校电子科学与技术、自动化、通信与信息系统、控制科学与工程、系统工程、生物医学工程等众多学科专业的本科生、研究生教材，同时对相关专业领域的研究人员和工程技术人员有重要的参考价值。

# 目 录

§ 1 绪 论 .....	1
§1.1 研究意义 .....	1
§1.2 国内外研究现状 .....	2
§1.3 多源信息融合发展趋势 .....	7
§1.4 研究内容 .....	14
§ 2 多源信息融合技术 .....	16
§2.1 信息融合基本原理 .....	17
§2.2 信息融合层次结构 .....	20
§2.3 信息融合方法选择 .....	23
§2.4 D-S证据推理融合决策过程 .....	33
§2.5 D-S证据理论的优缺点 .....	34
§ 3 神经网络与D-S证据理论结合的融合方法 .....	36
§3.1 神经网络概述 .....	36
§3.2 BP神经网络 .....	37
§3.3 BP算法网络训练流程 .....	39
§3.4 D-S证据理论和BP神经网络的融合模型 .....	40
§ 4 基于多源信息融合的心血管监护系统硬件设计 .....	42
§4.1 监护系统硬件组成 .....	42
§4.2 主控制器选择因素 .....	43

§4.3	存储器模块设计	45
§4.4	电源模块设计	53
§4.5	信号采集及调理电路设计	55
§4.6	人机接口模块设计	64
§4.7	时钟、复位电路、JTAG电路设计	66
§ 5	两种信号波形特征分析	70
§5.1	心音信号波形特征分析	70
§5.2	脉搏信号波形特征分析	74
§ 6	多源信息融合心血管疾病监护与诊断系统软件设计	79
§6.1	虚拟仪器概述	79
§6.2	传统仪器与虚拟仪器	80
§6.3	虚拟仪器系统组成	82
§6.4	虚拟仪器开发环境	85
§6.5	基于LabVIEW的心血管监护与诊断系统设计	86
§ 7	病员数据库搭建	95
§7.1	数据库结构设计	95
§7.2	运用LabSQL实现数据库访问	99
§ 8	总结与展望	106
§8.1	总 结	106
§8.2	展 望	107
	参考文献	108

# § 1 绪 论

## § 1.1 研究意义

多源信息融合是一个新兴的研究领域，是针对一个系统使用多种传感器这一特定问题而展开的一种关于数据处理的研究。多源信息融合技术是近几年来发展起来的一门实践性较强的应用技术，是多学科交叉的新技术，涉及信号处理、概率统计、信息论、模式识别、人工智能、模糊数学等理论。

近年来，多源信息融合技术无论在军事还是民用领域的应用都极为广泛。多源信息融合技术已成为军事、工业、医疗和高新技术开发等方面关心的问题，已广泛应用于C<sup>3</sup>I（Command, Control, Communication and Intelligence）系统、复杂工业过程控制、机器人、自动目标识别、交通管制、惯性导航、海洋监视和管理、农业、遥感、医疗诊断、图像处理、模式识别等领域。实践证明，与单传感器系统相比，运用多传感器数据融合技术在解决探测、跟踪和目标识别等问题方面，能够增强系统生存能力，提高整个系统的可靠性和鲁棒性，增强数据的可信度并提高精度，扩展整个系统的时间、空间覆盖率，增加系统的实时性和信息利用率等。

本书主要研究多源信息融合在心血管监护方面的应用。由于心血管疾病的突发性，病人一旦在无人看护状态下发病，往往丧失主动呼救能力，难以得到及时救治，很容易导致病人残疾甚至死亡。据不完全统计，全世界每年有2 000多万人因心血管疾病而



死亡,我国每年死于心血管疾病的总人数约是280万人,每小时约有320人被心血管疾病夺去了生命<sup>[1-3]</sup>。该类疾病的发病率呈逐年上升趋势,年龄呈年轻化。为降低心血管疾病患者的死亡率,除了病人自身饮食节制和适当运动外,开发出一种基于多源信息融合的智能心血管病实时监护系统显得尤为重要。

多源信息融合智能化心血管疾病监护系统的研究为心血管疾病的及时诊断和监护提供了依据,避免了传统诊断的主观性和时间局限性,实现了对病人24小时不间断安全监护。

## § 1.2 国内外研究现状

多年来,研究人员对信息融合的方式、系统的结构、融合系统中的信息表示与转换等做了深入的研究,总的来说,可以归纳为几个方面:

**信息融合层次:**决定对多源信息在相应阶段进行何种处理,融合层次关系到信息的处理量、信息的抽象性、决策的正确性及系统的容错性。

**信息表示和转换:**将不同的信息源转换为统一的表示形式,有效地实现各种信息源之间的比较、通讯,便于信息的融合。

**信息融合结构:**根据信息的性质、对象的特点和系统的要求,对多源信息进行控制和管理,选择合适的融合结构。

**信息融合方法:**决定对多源信息进行各种综合分析和处理,并进行推理得出对对象准确可靠的理解。

融合系统大多数使用了不同类型的传感器,但并没有把这些传感器看作一个整体来分析。虽然在传感器信息处理与分析方面已开展了大量富有成果的研究工作,但由于忽视了多传感器融合的研究,无疑对提高各种智能系统的性能带来了不利的影  
响。人们不得不遗憾地承认,目前世界上智能最强的智能系统适应环境

变化的能力还十分有限，远远达不到人们预期的目标，现有的智能系统基本上只能在环境不确定性很小的结构化或半结构化条件下工作。

虽然信息融合的应用研究已是如此广泛，但是信息融合本身至今仍未形成基本的理论框架和有效的广义融合模型及算法。绝大部分工作是针对特定应用领域问题开展研究，也就是说，目前对信息融合问题的研究都是根据问题的种类，各自建立直观融合准则，并在此基础上形成广泛的所谓最佳融合方案。这些研究反映的只是信息融合所固有的面向对象的特点，也就难以构成信息融合这一独立学科所必需的完整理论体系。这一理论短缺现象阻碍了研究者对信息融合本身的深入认识，使得信息融合在某种程度上仅被看成是一种多传感器信息处理概念；人们很难对融合系统做出综合分析与评估，使得融合系统的设计带有一定的盲目性。因此，即使不少学者曾探索了融合系统的性能评估问题，但这类评估大多只是提出一些特定的系统性能指标，或针对特定的应用背景来对某种融合算法进行分析。

在信息融合领域，理论研究远远落后于实际需要，至今尚未形成具有普遍指导意义下的较为严格的原理和方法。多源信息融合技术还是一门很不成熟的技术，目前对信息融合过程本身的功能与形式还没有统一的定义，还不能对一般信息融合建立通用的数学模型。目前的信息融合实用系统，大多以专家系统设计方法为实现基础，专门用于多传感器信息融合问题的通用结构设计的基础研究已经开始，但还没有突破性的实质进展。关于信息融合的研究内容和方法，有人从数学和控制的角度将信息融合解释为多元信息的最优估计；有人则认为不能简单地将信息融合看作是一件事或一项技术，而应当看作是一种智能思维方式。尽管看法各异，但人们共同的认识是：在一般情况下，使用多个信息源比只使用单一信息源能获得更准确、全面、可靠的环境信息，关于

这一点，部分研究者给出了理论上的证明<sup>[1, 4]</sup>。

在信息融合处理前，必须对信息进行关联，以保证所融合的信息是有关同一目标或现象的信息，即保证信息的一致性。如果不同目标或现象的信息进入融合系统，将使系统难以得出正确结论，这一问题称为关联的二义性，是信息融合所要克服的主要障碍。由于在多传感器信息融合中引起信息关联的二义性很多，如传感器测量的不精确性、干扰等，因此怎样确立信息可融合性的判断准则，如何进一步降低关联的二义性，已成为信息融合研究亟待解决的问题。另外，系统的容错性或鲁棒性，也是信息融合理论研究中必须考虑的问题。

少数已建成的信息融合系统仅仅是以一种简单的方式合成信息，还没有充分有效地利用多传感器所提供的冗余信息，而且许多工作仍处于试探性阶段，或者是仿真性阶段。在信息融合系统设计方面还面临许多实际问题，如传感器测量误差模型的建立、复杂动态环境下系统的实时响应、大知识库的建立及其管理等。

多传感器信息融合的研究具有探索性和预研性，尽管有许多的研究者，但还没有相应的学术团体，缺少学术交流的机会和专刊。信息融合这一术语尽管被广泛使用，其研究也得到了政府和个别基金项目的资助，引起众多研究者的极大兴趣，但它的含义却有不同的解释，这导致了我国在信息融合领域的研究进展缓慢，甚至对于信息融合的概念以及从基础理论到实际应用研究的主要内容、要解决的关键问题和当前面临的主要问题还缺乏一个基本的了解。

1995年，由国防科工委组织，20多位代表在长沙召开了第一次信息融合研讨会。从会上交流的学术论文来看，我国多源信息融合的研究还处于初级阶段。值得注意的是，多源信息融合的研究已经引起了国家有关部门的高度重视，并列入了“863计划”。1997年，国家自然科学基金把信息融合技术作为鼓励研究领域重

点推出。

20世纪70年代,随着医学、计算机科学等高速发展,越来越多的科学家将心血管状况与心音、脉搏波特征信息结合起来进行探讨,其中包括对心音信号传导和基本特征的理论研究,对采集到的心音信号数字化处理后进行时频特性的研究,将脉搏波传播速度与诊断各种疾病联系起来等<sup>[5,6]</sup>。

### 1. 对心音微弱成分的研究

冠状动脉阻塞(狭窄)即使少至25%也将产生阻塞后湍流,相应地在心音图(Phono Cardio Graphy, PCG)中表现为杂音成分;高度阻塞(95%以上)则由于血流的减少使杂音反而减少。冠状动脉阻塞产生的听觉成分往往经中间组织的衰减,而且为相应的瓣膜音所掩盖,所幸这些杂音成分发生在相对“安静”的舒张期,因此利用舒张期PCG信号研究对冠状动脉非症状性缺陷的无创性检测极有潜力。第三心音和第四心音的微弱成分也逐渐为人们所重视。

### 2. 心音的模式识别与自动解释

心音中含有大量的人体心脏生理、病理信息,因此对用现代数字信号处理方法提取的心音特征,用模式识别或神经网络对心音进行自动分类和识别,一直是人们感兴趣的研究课题之一。

### 3. 人工心脏瓣膜的无创伤检测

从20世纪70年代起,人们开始利用心音的频谱分析来评估瓣膜的功能和各种参数。于方方将传统谱分析方法和现代谱分析方法应用于植入主动脉瓣位置上的人工生物瓣膜音的分析,并对这两种谱分析方法的性能进行了比较研究<sup>[7]</sup>。

### 4. 心胸传播特性的建模与分析

心胸声传播系统对心音信号的作用不容忽视,然而由于技术上和认识上的原因,多年来心胸传播特性对心音和心杂音的影响一直未受到临床医生的注意。国内研究的方法主要集中在用老式

心音图机对采集的信号进行分析, 或者用声卡或其他方法对临床采集的听诊病例进行信号的分析研究, 真正把电子产品应用到临床的还很少。

### 5. 脉搏波传播速度的测定

一般是临床完成, 利用一定的装置, 在心血管上测试出两点之间的距离和传播这段距离所需的时间, 然后得到脉搏波平均传播速度, 最后将得到的脉搏波传播速度与生理因素以及病理状况结合起来研究分析。国内针对脉搏波的研究工作主要有: 清华大学电机系孔谔、白净等发表了《心血管系统参数变化对脉搏波波形影响的数字仿真研究》, 北京工业大学生物医学工程研究室罗志昌等发表了《脉搏波波形特征信息的研究》; 此外, 上海医科大学与上海交通大学合作进行了脉搏波频域内的一些研究工作。还有不少生物医学工程研究者致力于对超声血流信号、生物电信号进行信号分析的研究, 力图提取信号的某些有用特征, 根据特征进行诊断。例如, 有研究者利用电阻抗血流容积描记器, 从体外记录体内血管容积随血流脉动变化的情况, 利用血管容积的变化测算出血管弹性峰值, 利用峰值判定血管状态<sup>[8]</sup>。近几年, 也有大批的生物医学研究者力图根据脉搏波速度判定血管的弹性功能, 但目前尚未成熟, 有待进一步发展完善。

近年来, 世界各国纷纷建立冠心病监护病房、重症监护室、脑疾患者监护室, 在手术室、分娩室、康复室等一些专科病房也加强了监护措施。对于心血管疾病的监护, 目前已提出的主要手段有临床医用监测系统、便携式心电参数监测终端和远程心电监护系统三大类。临床监测系统一般用于对住院病人的监测, 设备体积和重量较大, 测量参数较多, 由护理人员按时记录, 再经医生诊断。便携式监测终端目前已有的系统包括心率监测终端、呼吸监测终端等, 它们多是根据某一监测参数的变化来提供声音报警, 这些便携式终端由于监测参数单一, 误报率高, 能投入实用

的很少，难以得到普及。远程心电遥测监护系统通过佩戴在病人身上的传感器实时监测生理参数，利用无线或有线通信技术实现远程医疗和监护，但其必须要有医生进行诊断，不具有智能诊断功能<sup>[3, 9, 10]</sup>。

从发表的论文和专利成果来看，目前国外的主要研究趋势和内容包括：基于蓝牙技术的家庭成员监护系统，通过布设在室内的传感器网络，对家庭成员进行无线安全监护；基于无线传感器网络的病人监护系统，通过非接触传感器监护病人身体状态；可植入人体的微型化传感器监测终端，利用无线技术和微型化技术，实现病人的无负担工作生活等。目前的技术趋势是以监护终端尽量不影响病人的日常生活为目的，实现微型化和智能化，不仅可以用来显示病人的各类信息，而且可以通过计算机的处理和分析，已能综合分析检测结果来对病人进行可靠的看护，让医务人员做出快速判断、治疗。

### § 1.3 多源信息融合发展趋势

随着科学技术的发展，新型敏感材料和传感器不断涌现，传感器种类的增多、性能的提高及精巧的结构，都促进了多传感器信息融合的发展。多传感器系统所采集的信息量将大大增加，这些信息在时间、空间、可信度、表达方式上不尽相同，侧重点和用途也不同，这对信息的处理和管理工作提出了新的要求。若对各种不同传感器采集的信息进行单独、孤立的加工，不仅会导致信息处理工作量的增加，而且割断了各种传感器信息间的内在联系，丢失信息有机组合可能蕴含的对象特征，从而造成信息资源的浪费。从另一方面看，由于传感器感知的是同一环境下不同（或相同）侧面的有关信息，所以这些信息的相关是必然的。由此，多传感器系统要求采用与之相应的信息综合处理技术，协调

各传感器彼此间的工作, 传感器信息融合的有关理论, 就是为了更有效地处理多传感器系统的各种信息而发展起来的新的研究方向。虽然当今的信息技术已经给人们带来了很大方便, 但技术前进的脚步是不会停止的。面向21世纪的信息技术变革中, 信息技术的发展方向将是智能化, 智能信息处理是集系统内外部各种信息形式, 利用某种关于信息的经验和知识, 在以算法为核心的传统信息处理技术的基础上, 将启发式知识获取及上下层知识处理相结合的信息处理技术。它有望解决信息量不完全而导致系统的病态问题, 用数学模型难以描述的非线性和不确定性问题, 以及计算复杂性和实时性问题。

当前, 多传感器信息融合研究热点主要集中在信息融合的基本理论研究, 兼具准确性和鲁棒性的融合算法研究, 复杂系统融合技术研究, 神经网络和专家系统应用于融合系统研究, 信息融合系统的设计和评估方法研究, 生物医疗信息融合技术研究等。具体包括以下几个方面:

### 1. 信息融合模型的研究

信息融合模型包括功能模型、结构模型、过程模型和数学模型等, 前三类模型密切相关, 可统称为信息融合模型, 而数学模型是指各种信息融合方法。至今人们已提出了多种信息融合模型, 如JDL模型、OO-DA模型、OMNIBUS模型、STDF模型等, 其中应用最广泛的是JDL模型及其演化版本。JDL模型最初是面向军事应用而提出的, 主要包括四级: 第一级“目标评估”, 第二级“态势评估”, 第三级“威胁评估”, 第四级“过程优化”。后来研究者发现有必要增加0级, 对于这一级功能, 很多学者先后进行了不同的变更和解释, 如信息源预处理、信号级优化、次目标估计、信号/特征估计、检测级融合等。为了将JDL模型从军事应用推广到民用领域, 人们又将第三级“威胁评估”改为“影响评估”。长期以来, 有关信息融合的研究工作绝大多数都局限于第一

级“目标评估”。有人建议把它分解为两级，即“位置级融合”和“目标识别级融合”。随着信息融合技术研究的深入和应用领域的推广，有些问题的复杂度和难度超出了自动融合系统的能力，需要人的参与才能解决。因此，研究者们又在JDL修正模型的基础上增加了第五级“用户优化”，即人的认知优化融合功能。为了突出信息融合系统的实际设计问题，更好地支持高层次融合和系统开发，数据融合信息组（DIFG）对JDL模型做了修改，将信息融合功能与资源管理功能相分离。资源管理又可分为传感器控制、平台部署和用户选择等，以实现任务目标。

DFIG模型各级功能的定义如下：0级——数据评估：在像素/信号级数据关联的基础上，估计和预测信号/目标的可观测状态；第一级——目标评估：在数据关联、连续/离散状态估计的基础上，估计和预测实体状态；第二级——态势评估：估计和预测实体间的关系；第三级——影响评估：估计和预测参与实体的行动态势所产生的效果，也包括多方行动计划之间的交互所带来的影响；第四级——过程优化（资源管理的一个要素）：自适应地获取和处理数据，以支持目标感知；第五级——用户优化（知识管理的一个要素）：针对不同用户自适应地检索与显示数据，以支持认知决策和行动；第六级——目标任务管理（平台管理的一个要素）：自适应地对资源实体进行时空控制并确定目标，以便在受到各种外界因素约束的情况下支持团队的决策和行动。JDL模型及其演化都是面向技术的功能模型，强调各个融合级别的功能差异。还有一些融合模型是面向人类决策而提出的，强调人的作用与机器融合的统一与结合，其中最典型的的就是OODA（观察—定向—决策—行动）循环模型。这个模型与DFIG模型之间可建立映射：观察对应于目标评估（ $L_1$ ），定向对应于态势/影响评估（ $L_{2/3}$ ），决策对应于用户优化（ $L_5$ ），行动对应于过程优化（ $L_4$ ）。针对不同的应用，OO-DA模型又有多个细化版本，如扩展的OODA模型、M



(模块)-OODA模型、T(团队)-OODA模型、C(认知)-OODA模型和TECK(技术、情感、文化、知识)-OODA模型等。其中，C-OODA模型用于指挥与控制等动态复杂的决策环境，可对达成一个决策的信息输入延时和执行该决策的动作输出延时进行建模和分析。

上述各模型可为信息融合系统的设计提供参考，但实际信息融合系统的结构模型取决于三个方面：融合层次，包括数据级、特征级和决策级融合，或JDL模型中不同功能级别，如面向军事应用的0级至第二级融合结构模型中的每级结构都不同；融合功能的部署，可分为集中式结构、分布式结构和混合结构；应用环境，近几年研究人员基于JDL模型提出了一些特定于应用的信息融合结构模型，如用于战场态势估计的结构模型、用于虚拟制造的JDL-U模型等。因此，至今仍不存在一个支持所有融合级别的通用结构模型。事实上，大多数系统针对专门用途仅实现了某个或部分级别的信息融合，且信息融合功能通常是作为现代信息系统的一个模块或子系统。

## 2. 信息融合方法论的研究

多源信息融合所面临的问题多样而复杂，为此人们提出了大量的理论与方法。出现在文献中的方法分类有：基于物理模型、参数模型和认知识别模型的方法分类，基于状态模型、统计理论、知识规则和信息理论的方法分类，基于信号处理与估计理论、统计推断理论、信息论、决策论、人工智能和几何分析的方法分类，基于概率统计的传统方法和基于人工智能的现代方法分类，面向数据/信息不同特性的方法分类，面向不同融合功能级别的方法分类等<sup>[11-14]</sup>。可见，信息融合方法论涵盖众多学科。需要说明的是，最后两种分类法跟前面提到的信息融合两方面的问题与挑战相对应，能为人们在解决实际问题或开发融合系统时选择合适的融合算法提供指导，也能让人们更容易从整体上了解信息