

文章编号: 1002-0411(2003)05-0442-06

# 信息融合技术在智能建筑控制系统中的应用

郭惠勇, 张 陵

(西安交通大学建筑工程和力学学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 本文首先将信息融合技术引入智能建筑控制领域, 并提出了相应的控制模式. 该控制模式分析了各个组成部分的关联关系, 并被划分为六级层次, 而六级层次之中主要包含了四个子系统. 进一步分析了四个子系统的组成、功能和算法. 最后对整体控制模式的优化作用进行了分析.\*

关键词: 多传感器; 智能建筑; 控制模式; 信息融合

中图分类号: TP13

文献标识码: B

## INFORMATION FUSION TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION TO INTELLIGENT BUILDING CONTROL SYSTEMS

GUO Hui-yong, ZHANG Ling

(School of Architecture Engineering and Mechanics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** This paper applies multi-sensor information fusion to intelligent building field and presents a corresponding control scheme. The six-level architectures of the scheme are put forward and analyzed, and four subsystems are included in the six-level architectures. Then, functions, constitutions and adaptive algorithms of the four subsystems are analyzed. The whole optimization performance of the control scheme is discussed.

**Keywords:** multi-sensor; intelligent building; control scheme; information fusion

### 1 简介 (Introduction)

智能建筑的概念在 20 世纪末诞生于美国, 第一幢智能大厦于 1984 年在美国哈特福德 (Hartford) 市建成. 我国的智能建筑于 90 年代才起步, 但其迅猛发展势头已经令世人瞩目. 智能建筑作为信息时代的必然产物, 来自于现代建筑技术与信息技术的相结合, 而且建筑物智能化程度随科学技术的发展而逐步提高. 现代计算机技术 (Computer)、现代控制技术 (Control)、现代通信技术 (Communication) 和现代图形技术 (CRT), 即 4C 技术, 是智能建筑发展的基础<sup>[1-3]</sup>. 智能建筑将 4C 技术综合应用于建筑物之中, 在建筑物内建立一个计算机综合网络, 使建筑物智能化、结构化和系统化.

而信息融合是多源信息综合处理的一项新技术, 它能将来自某一目标的多源信息加以智能化合成, 产生比单一信息源更精确、更完全的估计和判决. 信息融合的概念始于 70 年代初期, 来源于军事领域中的 C<sup>3</sup>I (Command, Control, Communication and

Intelligence) 系统的需要, 当时称为多源相关、多传感器混合数据融合, 并于 80 年代建立其技术. 近年来, 随着计算机技术、通讯技术的发展, 特别是军事上的迫切要求, 这一技术得到了迅速发展, 并引起了世界范围内的普遍关注<sup>[4]</sup>. 现在, 信息融合技术已经在各个领域得到了广泛深入的研究. 信息融合首先应用于军事领域, 包括航空目标的探测<sup>[5-7]</sup>、识别<sup>[8]</sup>和跟踪<sup>[9-11]</sup>, 以及战场监视、战术态势估计和威胁估计等<sup>[12]</sup>; 在地质科学上, 信息融合应用于遥感技术, 包括卫星图像和航空拍摄图像的研究<sup>[13, 14]</sup>; 在机器人技术和智能航行器领域, 信息融合主要应用于这两个方面, 即机器人对周围环境的识别<sup>[15-17]</sup>和自动导航<sup>[18-21]</sup>; 信息融合技术也被应用于医疗诊断和人体模拟<sup>[22-24]</sup>以及一些复杂工业过程控制领域<sup>[25-27]</sup>.

考虑到智能建筑控制领域的复杂性、传感器的多样性, 以及 4C 技术与 C<sup>3</sup>I 技术的相关性, 本文首先将信息融合技术引入智能建筑控制领域, 并提出了相应的闭环控制方案. 该控制方案分析了各个组

\* 收稿日期: 2002-08-06  
基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目 (2002E206)

成部分的关联关系,并将融合层次划分为六级,而六级层次之中主要包含了四个子系统,四个子系统组成,功能和算法又被进一步的分析.以往的信息融合控制方案常常忽略掉执行器资源对决策融合和方案选择的影响,这里采用了执行器子系统,利用其对决策管理子系统的信息反馈来反映执行器资源对决策的影响.最后论述了整个闭环控制方案的整体实现.

## 2 基于信息融合的智能建筑控制系统的构成与分析 (Constitution and analysis of intelligent building control system based on information fusion)

### 2.1 智能建筑与信息融合

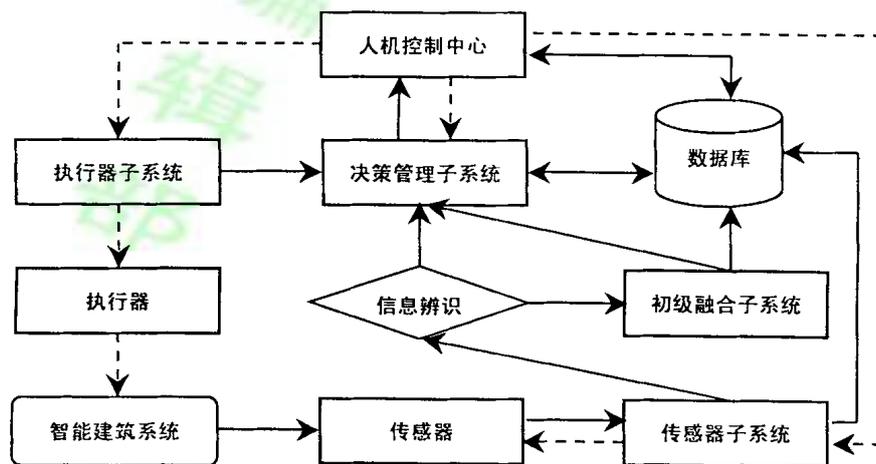
智能建筑与一般建筑不同的地方,是它除了有一般的电力供应、给排水、空气调节、采暖、通风等设施外,还应具有较好的信息处理及自控能力.它包含三大系统,即建筑物自动化系统、办公自动化系统、通信自动化系统<sup>[28]</sup>.而这三大系统中又包含许多功能子系统,如环境管理控制子系统、火灾报警以及消防控制子系统、保安系统、地震监控子系统等等.这些系统是一个综合的整体,而不像过去那样是分散的、没有联系的系统.因此可以利用信息融合技术,借助其强大的处理信息的能力,将由各个子系统组成的综合体系通过信息通信网络实现集中监视、管理和综合控制的功能模式,从而达到最优化的控制管理,提高智能建筑的安全性、舒适性和高效性.这

样就可以实现信息技术与建筑技术的高度融合.

### 2.2 基于信息融合的智能建筑控制系统

将信息融合技术应用于智能建筑,目前尚未见国内外的研究报道.这里借鉴了美国国防部 JDL 提出的四级融合模式,根据智能建筑系统的特点,提出了基于信息融合的控制方案,即采用了六层次划分方法:传感器层、传感器子系统层、初级融合子系统层、决策管理子系统层、执行器子系统层、执行器层.如图 1 所示,图中不仅显示了这六层,而且还包含一些中间环节,如数据辨识环节,其功能作用将在传感器子系统里说明,而数据库作用将在应用的各个系统层次中分别说明.在这六层划分中包含四个子系统,即:传感器子系统、初级融合子系统、决策管理子系统、执行器子系统,该四个子系统的组成、功能和算法将被进一步分析.

图 1 展示了基于信息融合控制方案的功能目标信息以及总体级别上的分层,而在每一个功能框图上还可能包含着相应的子体或者子系统,而子体或者子系统中可能仍进一步包含着更低级的子体或者子系统.另外该图也展示了信息流的方向,从数据的提取上说,数据流的方向是从下到上的,而从控制信号来说,它的流动则是趋向于下方的.在这种情况下,由传感器感知的数据信息将会沿着向上的方向依次被提取,最终到达人机控制中心,而控制信号则向下传递,最后主要控制信号通过执行器作用于所控制目标,实现完整的闭环控制.



(——代表数据流动,----代表控制信号)

图 1 基于信息融合的智能建筑系统控制模式

Fig.1 Intelligent building control scheme based on information fusion

### 2.2.1 传感器层

传感器层是指智能建筑系统中用到的各种传感器.如环境管理子系统包含温度传感器、湿度传感器、压力传感器、空气质量传感器等等;火灾自动报警系统包含温度传感器、感烟传感器、火焰探测器、可燃气体探测器等等;保安监控系统则包含被动式红外线监测器、双鉴或者三鉴监测器、对射式红外线监测器、动态分析红外线监测器、震动监测器、玻璃破碎监测器等等;结构地震监控系统则有加速度传感器、位移传感器以及振动传感器等等.传感器的数据直接来自于硬件,包括原始的数据或者经过解算的数据,而这些数据夹杂着各种的干扰和噪声,需要经过处理.

### 2.2.2 传感器子系统层

传感器子系统层包含着更低层次的模块,主要由三部分组成:功能辨识、模型辨识、资源配置,如图2所示.功能辨识模块中包含着按照功能的分类,如环境管理子系统、火灾报警子系统、保安监控系统、地震监控子系统等等,主要是将来自传感器信息按照功能分类,为下一步各类系统的融合提供数据,使杂乱无章的数据初步系统化;模型辨识主要考虑各种传感器在空间和时间上的测量特征不同,按照其测量输出量的特性建立其模型,本文提出将其分为观测模型、特征模型、决策模型,观测模型是指传感器输出所测目标的物理量数据,特征模型是指传感器输出了所测目标的某一方面特性,决策模型是指

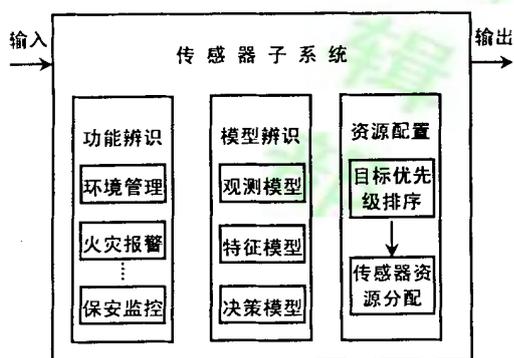


图2 传感器子系统

Fig.2 Sensor subsystem

传感器给出了报告和决策;资源配置模块包含目标优先级确定部分和传感器资源再分配部分,它可以接受人机控制中心的反馈控制,按照所发生事件的威胁程度不同,重新调整传感器资源以进行重点监

控.这里附带说明图1中的信息辨识模块,主要功能是将所有的传感器数据进行辨识,将来自传感器子系统的观测模型和特征模型数据输入初级融合子系统,将决策模型数据分流到决策管理子系统.

以上主要是传感器子系统的结构和功能,但是适合于以上功能模型的算法也是需要的,具体算法可见参考文献[29].

### 2.2.3 初级融合子系统层

初级融合子系统由特征提取、模式识别、决策融合三部分组成,如图3所示.特征提取包含着两个子部分,即数据入-数据出、数据入-特征出;模式识别则是指特征级的融合,也包括两个子部分,即特征入-特征出、特征入-决策出,以上两个组成部分的特征数据被输入数据库,既为下一步融合打下了基础,又为以后类似事件的发生提供了判断的依据和参考.决策融合主要包含一个子部分,即决策入-决策出.这里的决策融合主要是在各个功能子系统内部进行的,即子系统内的决策融合.通过以上的决策融合,火灾报警子系统可以初步判断火灾是否发生,保安系统的融合可以判明是否有异物进入,同样,结构地震监控系统基本可以判断是否有地震灾害发生等.但是,由于该层次里的融合主要在各个功能子系统的内部,而各个功能子系统之间仍未关联起来,这就提出了下一层次的任务.对于初级融合子系统层的架构,如果从三个组成部分的角度上来说,是串行结构,如果站在各个功能子系统的角度,是并行结构.总体来说,可以认为是以各功能子系统并行为主的混合结构,并行结构里包含着特征提取、模式识别、决策融合三个组成部分的串行结构.由于特征提取、模式识别、决策融合三个组成部分的串行结构包含在每一个功能子系统中,因此初级融合子系统的模式框图描述成图3所示.

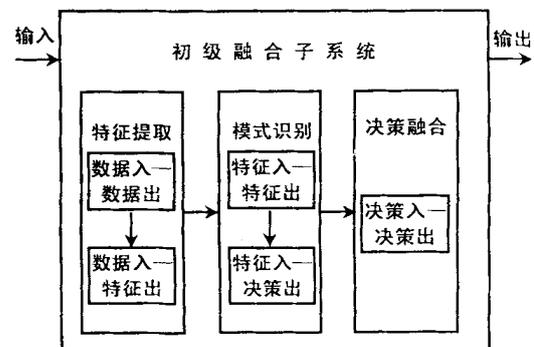


图3 初级融合子系统

Fig.3 Primary fusion subsystem

对于初步融合子系统来说,多传感器信息融合的一般方法大部分都是适用的.常用的方法有卡尔曼滤波法、贝叶斯估计法、Dempster-Shafer 证据组合法、模糊推理理论和神经网络理论<sup>[30,31]</sup>,此外还有一些其他算法,如遗传算法<sup>[32]</sup>、小波分析理论<sup>[33]</sup>、支持向量机<sup>[34]</sup>或者一些简单方法如线性组合法<sup>[35]</sup>等.由于智能建筑自动化系统由网络组成,如 JOHNSON Controls 公司的 METASYS 系统, Honeywell 公司的 EXCEL 5000 系统等<sup>[2,3]</sup>,这些已有的能够实现初步楼宇监控的集散系统,均采用了网络化的拓扑结构,而神经网络算法是由大量广泛互联的处理单元连接而成的,它具有大规模并行模拟处理、存储体和操作合二为一、连续时间操作和网络全局作用的特点,因此,神经网络融合算法用于智能建筑具有一定的优势.可以利用神经网络分布式信息存储和并行处理的特点,避开一些建模困难和特征难于提取的过程,从而消除由于模型不符和特征选择不当带来的影响,并实现实时识别,以提高系统的辨识性能.

#### 2.2.4 决策管理子系统层

决策管理子系统主要由联合决策融合、威胁估计、方案选择组成,如图 4 所示.联合决策融合主要是将来自传感器子系统、初级融合子系统的数,以及来自执行器子系统的数进行决策融合.威胁估计则是将得到的融合结果进行威胁估计,把各个事件所产生的危害程度作为评价指标.方案选择是利用决策融合与威胁估计的结果,同时借鉴知识库里的专家知识和先验数据库里的相似事件的以往决策方案,进行控制方案的制定、选择和推荐.

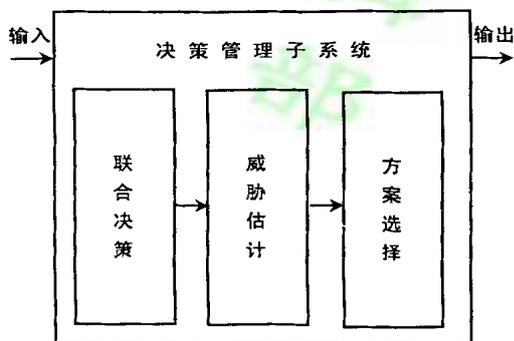


图 4 决策管理子系统

Fig. 4 Decision management subsystem

联合决策融合提供了整体智能建筑的结构化情况和综合事件发生的估计,威胁估计则对各个事件的危险程度进行了估计.两者不仅指出了事件发生

的行为模式,还提出了危险程度的量化分析.因此,进行决策管理需要这样一些能够模仿人类思维并且提供综合结论的算法.在现有的方法中,基于知识的方法能够满足该条件.在军事领域中的多传感器信息融合应用中,此类方法被应用于状态估计和威胁估计.同样,基于知识的方法也能够很好地应用于智能建筑系统.黑板结构作为基于知识系统的一种实现结构<sup>[36]</sup>,可以模拟人类专家处理问题的方法,通过多个知识源间的协同通信、控制协议来处理融合问题,因此,结合黑板结构的方法在解决此类融合问题上具有一定适用性.

#### 2.2.5 执行器子系统层

执行器子系统由功能辨识和资源配置两部分组成,如图 5 所示.功能辨识主要是将执行器按照功能进行识别,包括消防控制系统、门禁控制系统、环境管理控制系统以及减震控制系统等等,而且这些控制系统里面还容纳着一些更小的子系统,将执行器分类可以方便控制作用的实施.资源配置则是对于有限的执行器资源来说,要根据控制方案进行执行器的优先权排序,使其优先满足最危险程度下的控制要求,在此条件下对执行器资源进行分配,同时,将现有的执行器资源反馈给决策管理子系统,使其达到全面的信息融合.

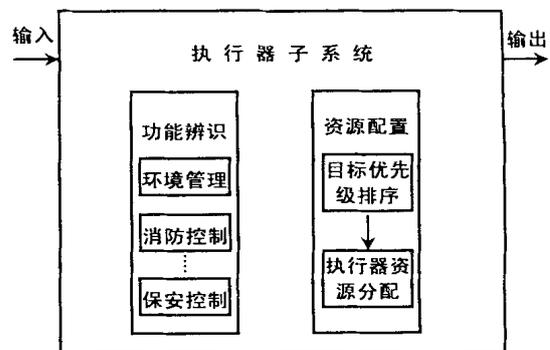


图 5 执行器子系统

Fig. 5 Actuator subsystem

由于所需控制的目标具有复杂性和多样性,控制算法也是多样的.例如,对于消防控制系统,常常综合火灾警报、自动喷淋保护、二氧化碳保护、排烟系统、防火卷帘门联动控制等的功能,因此采用智能化方法会比较有效,例如基于知识的方法.对于减震控制系统,则可以采用被动、主动或者半主动控制方法,并相应采用一些算法,如最优化控制算法、瞬时优化控制算法、滑移模态控制算法或者  $H_{\infty}$  控制方法等等<sup>[37]</sup>.

### 2.2.6 执行器层

执行器层是指智能建筑控制系统中用到的各种执行器.如环境管理子系统中有电动调节阀、电动风门、风机、水泵等等;消防控制系统中有自动喷淋泵、电动防火阀、防排烟阀、防火卷帘门、消防泵等等;出入口控制系统有编码卡、读卡器、门控制器等等;减震控制系统有隔震垫、磁流变阻尼器、主动支撑装置、主动悬索装置等等.执行器是构成控制系统不可缺少的重要部分,在系统中它接受来自调节器的控制信号,转换成所需的输出,以改变被调节对象的质量或者能量等.

### 3 整体控制方案的分析 (Analysis of the integrated control scheme)

对于智能建筑这个多传感器系统来说,信息具有多样性和复杂性,因此要求采用的信息融合方法具有鲁棒性和并行处理能力,还要考虑方法的运行速度和精度.本文提出的基于信息融合的控制方案具有以下与应用于其他领域的控制方案不同的特性:1)提出了按照传感器输出特性建立其分类模型,为后续处理打下基础;2)将执行器子系统纳入了融合控制方案,保证了融合的全面性,以往的信息融合架构,很少考虑该部分,或者很少将其作为单独的一个层次提出来;3)该方案考虑了智能建筑系统的特性,并提供了一些建议算法.

采用信息融合方法,参考人们事先设定的各种对应指令,计算机通过对各种应对措施的关联分析,如联动关系、无关关系、矛盾关系,就能够迅速、有条不紊地综合处理各种事件.例如,当发生火灾时,火灾报警系统启动,数据传递到控制中心,控制中心发出一系列指令,启动消防联动系统做出对策:打开火灾层的正压送风阀、排烟阀,启动正压风机和排烟风机,启动消防泵,控制相关的防火卷帘门.同时控制中心向其他系统发出指令,环境管理控制系统立即停止火灾层的空调,停止相关的送、排风机,切断火灾层的正常照明,启用事故照明系统.防盗保安系统打开相应的通道,使门禁系统不起作用,闭路监视系统的摄像机,在火灾层可以监视火情的发展,其余地方的摄像机继续正常的监视工作.如果火灾同时有人非法闯入,防盗保安系统的探测器探测到此情况,则两起事件的多源信息经过传递,利用信息融合方法进行融合和关联,综合处理后给出方案选择到控制中心,控制中心发出相应指令,摄像机进行跟踪,调整相应防火卷帘门的开启,使闯入人员保留逃生

出路.面对如此复杂的事件联动动作,以及各种关联关系的处理决策,利用信息融合方法集成和综合处理可以进行正确的运作,将各种并发事件带来的损失降到最低.

### 4 结论 (Conclusion)

在我国,智能建筑技术和信息融合研究走过的历程都很短,还有一个不断认识、学习、提高的过程.本文借鉴了智能建筑技术和信息融合方法,首先将两者结合起来,建立了基于多传感器信息融合的智能建筑闭环控制方案,并对其进行了架构分析和讨论,指出了信息融合方法应用于智能建筑是完全适用的.综上所述,信息融合方法应用于智能建筑领域是一种有前途的方法.

### 参 考 文 献 (References)

- [1] 吴成东,夏兴华,李梦歆.智能建筑智能品质的评价方法[J].信息与控制,2002,31(1):89~92.
- [2] 黎连业.智能大厦智能小区基础教程[M].北京:科学出版社,2000.
- [3] 杨绍胤.智能建筑原理、规划和设计[M].杭州:浙江科学技术出版社,1999.
- [4] 康耀红.数据融合理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1997.
- [5] Bastiere A. Methods for multisensor classification of airborne targets integrating evidence theory [J]. Aerospace Science and Technology, 1998, 2 (6): 401 ~ 411.
- [6] Kam M, Rorres C, Chang W, et al. Performance and geometric interpretation for decision fusion with memory [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic-Part A: Systems and Humans, 1999, 29 (1): 52 ~ 62.
- [7] Lampropoulos G A, Anastassopoulos V, Boulter J F. Constant false alarm rate detection of point targets using distributed sensors [J]. Optical Engineering, 1998, 37(2): 401 ~ 416.
- [8] Buede D M, Girardi P. A target identification comparison of Bayesian and Dempster-Shafer multisensor fusion [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic - Part A: Systems and Humans, 1997, 27(5): 569 ~ 577.
- [9] Aziz A M, Tummala M, Cristi R. Fuzzy logic data correlation approach in multisensor multitarget tracking systems [J]. Signal Processing, 1999, 76(2): 195 ~ 209.
- [10] Fayman J A, Pirjanian P, Christensen H, et al. Exploiting process integration and composition in the context of active vision [J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic-Part C: Application and Reviews, 1999, 29(1): 73 ~ 86.
- [11] Rago C, Willett P, Alford M. Predetection fusion: resolution cell grid effects [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1999, 35(3): 778 ~ 789.
- [12] Antony R T. Database support to data fusion automation [J]. Pro-

- ceeding of the IEEE, 1997, **85**(1): 39 ~ 53.
- [13] Pohl C, Van Genderen J L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, **19**(5): 823 ~ 854.
- [14] Ward L. Some terms of reference in data fusion [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1999, **37**(3): 1190 ~ 1193.
- [15] Joshi R, Sanderson A C. Minimal representation multisensor fusion using differential evolution [J]. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic- Part A: Systems and Humans*, 1999, **29**(1): 63 ~ 76.
- [16] Matia F, Jimenez A. Multisensor fusion: An autonomous mobile robot [J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 1998, **22**(2): 129 ~ 142.
- [17] Murphy R R. Dempster-Shafer theory for sensor fusion autonomous mobile robots [J]. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 1998, **14**(2): 197 ~ 206.
- [18] Gamba P, Lodola R, Mecocci A. Scene interpretation by fusion of segment and region information [J]. *Image and Vision Computing*, 1997, **15**(7): 499 ~ 509.
- [19] Murphy R R. Sensor & information fusion improved vision-based vehicle guidance [J]. *IEEE Intelligent Systems*, 1998, **13**(6): 49 ~ 56.
- [20] Ng K C, Trivedi M M. A neuro-fuzzy controller for mobile robot navigation and multirobot convoying [J]. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic - Part B: Cybernetics*, 1998, **28**(6): 829 ~ 840.
- [21] 江春红, 苏惠敏, 陈哲. 信息融合技术在 INS/GPS/TAN/SMN 四组合系统中的应用 [J]. *信息与控制*, 2001, **30**(6): 537 ~ 542.
- [22] Broussard R P, Rogers S K, Oxley M E, *et al.* Physiologically motivated image fusion for object detection using a pulse coupled neural network [J]. *IEEE Transaction on Neural Network*, 1999, **10**(3): 554 ~ 563.
- [23] Nauck D, Kruse R. Obtaining interpretable fuzzy classification rules from medical data [J]. *Artificial Intelligent in Medicine*, 1999, **16**(2): 149 ~ 169.
- [24] Nejatali A, Ciric I R. Novel image fusion methodology using fuzzy set theory [J]. *Optical Engineering*, 1998, **37**(2): 485 ~ 491.
- [25] Perrot N, Bonazzi C, Trystram G. Application of fuzzy rules-based models to prediction of quality degradation of rice and maize during hot air drying [J]. *Drying Technology*, 1998, **16**(8): 1533 ~ 1565.
- [26] Lou K N, Lin C J. An intelligent sensor fusion system for tool monitoring on a machine centre [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1997, **13**(6): 556 ~ 565.
- [27] Niu Y M, Wong Y S, Hong G S. An intelligent sensor system approach for reliable tool flank wear recognition [J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1998, **14**(2): 77 ~ 84.
- [28] 张瑞武. 智能与智能建筑 [J]. *智能建筑技术*, 1999, (1): 1 ~ 9.
- [29] 何友等. 多传感器数据融合算法综述 [J]. *火力与指挥控制*, 1996, **21**(1): 12 ~ 21.
- [30] 王耀南, 李树涛. 多传感器信息融合及其应用综述 [J]. *控制与决策*, 2001, **16**(5): 518 ~ 522.
- [31] Whitely J R, Davis J F. Observation and problems applying ART-2 for dynamic sensor pattern interpretation [J]. *IEEE Trans. on SMC*, 1996, **26**(4): 423 ~ 437.
- [32] Hu C Z, Tan H M. Multisensor fuzzy stochastic fusion based on genetic algorithms [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2000, **9**(1): 49 ~ 54.
- [33] Li S T, Wang Y N. Multisensor image fusion using discrete multiwavelet transform [A]. *Proc of the 3rd Int. Conf on Visual Computing [C]*. Mexico:2000. 93 ~ 103.
- [34] Ben Yacoub S, Abdeljaoued Y, Mayoran E. Fusion of face and speech data for person identity verification [J]. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1999, **10**(5): 1065 ~ 1074.
- [35] Vogt C C, Cottrell G W. Fusion via a linear combination of scores [J]. *Information Retrieval*, 1999, **1**(3): 151 ~ 173.
- [36] Tu J W, Xu S S. Application of knowledge-based system in multisensor data fusion [A]. *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation [C]*. Hefei:2000. 351 ~ 354.
- [37] 李宏男, 阎石. 中国结构控制的研究与应用 [J]. *地震工程与工程振动*, 1999, **19**(1): 107 ~ 112.

## 作者简介

郭惠勇(1971 - ),男,博士研究生.研究领域为信息融合、结构控制.

张陵(1957 - ),男,教授.研究领域为结构控制、信息融合、智能材料.