

文章编号: 1002-0411(2001)06-537-06

信息融合技术在 INS/GPS/TAN/SMN 四组合系统中的应用

江春红 苏惠敏 陈哲

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院 301 教研室 北京 100083)

摘要: 主要介绍了组合导航系统中多传感器信息融合技术的国内外发展状况, 对 INS/GPS/TAN/SMN(惯性系统/卫星导航系统/地形辅助导航/景象匹配导航)组合系统中的多传感器信息融合的层次结构与融合方法, 首次提出 INS/GPS/TAN/SMN 组合导航系统信息融合的层次结构, 并提出了多源图像融合制导的思想与方法。本文指出比较有应用前景的信息融合研究方法是基于模糊逻辑、小波分析、神经网络等人工智能的新方法, 以及这些新方法传统的随机类方法相结合的随机-人工智能的信息融合方法。

关键词: 多传感器; 组合导航; 信息融合

中图分类号: TP13

文献标识码: B

MULTI- SENSOR INFORMATION FUSION TECHNIQUE AND IT'S APPLICATION IN INS/GPS/TAN/SMN INTEGRATED NAVIGATION SYSTEMS

JIANG Chun-hong SU Huimin CHEN Zhe

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract: The external and domestic development status of Multisensor information fusion technique in integrated navigation systems is discussed. Especially, the fusion architecture and methods for INS/GPS/TAN/SMN (Inertial Navigation System, Global Positioning System, Terrain Aided Navigation, Scene Matching Navigation) Integrated Navigation Systems are introduced and investigated deeply. The fusion architecture of INS/GPS/TAN/SMN Integrated Navigation system is put forward firstly; also the idea and method of multi image fusion are adopted to integrated navigation systems. Artificial intelligence based methods such as fuzzy logic, wavelet analysis and neural network, as well as the combination of these new methods and the traditional stochastic methods are considered as the most prospective methods in this field.

Keywords: multisensor, integrated navigation, information fusion

1 组合导航/制导系统信息融合技术简介 (Introduction of information fusion technology in integrated navigation/guidance systems)

未来的战争将是一场由精确制导武器主导的战争。精确制导武器必须具有抗干扰、全天候作战的能力以及足够的命中精度和命中概率。目前, 精确制导武器均采用组合导航/制导体系。如美国的 UH-1 直升机上装备有利登公司生产的捷联姿态- 航向基准系统 ASN-143、辛格-基尔福特多普勒速度传感器

ASN-137、罗斯蒙特 542-AY 气压式高度表、霍尼韦尔 APN-209 雷达式高度表、摩托罗拉 Eagle GPS 接收机(接收 C/A 码)等机载设备^[1]; 美国在 90 年代重点发展的“捕食者”、“全球鹰”和“暗星”等无人侦察机, 可携带 2 台光学摄像机、一部激光测距机、一部红外摄像机和一部“特萨”合成孔径雷达, 且携带的侦察传感器可随任务的不同在战场上迅速更换; 海湾战争和科索沃战争中使用的“战斧”巡航导弹则是组合导航/制导系统的典型应用实例——初段使用惯性制导仪制导, 在中途利用地形等高线 TERCOM 进行修正, 能使引导偏差低于 18m, 最后末制

导采用景象匹配制导,使末制导精度达到了米级^[2]。

据上所述,基于多传感器信息融合技术的智能组合导航系统对新一代精确制导武器来讲尤为重要。在组合导航/制导系统中,常用的传感器有:惯导系统(INS),全球定位系统(GPS),地形匹配中用到无线电高度表和气压高度表,景象匹配中用到 CCD 相机、合成孔径雷达(SAR)和前视红外成像仪等。这些传感器及其子系统在精度、可靠性、使用范围等方面都各有优缺点,如何将这些传感器及其子系统有机地组合起来,对多传感器及其子系统进行有效的管理、控制、决策、故障诊断、故障隔离及系统重构,提高整个导航/制导系统的综合性能,正是研究多传感器信息融合技术的目的和意义所在。

所谓信息融合技术就是充分利用多个传感器在空间或时间上的冗余或互补信息,依据某种准则来进行融合,以获得被测对象的一致性解释或描述,从而取长补短,精确地反映被测对象的特征,消除信息的不确定性,提高系统的可靠性。多传感器信息融合可以得到比单一传感器更全面、更准确的信息。

2 四组合系统中多传感器信息融合的层次结构(The information fusion architecture of the integrated systems)

2.1 多传感器信息融合层次结构概述

由于信息融合是对多源信息进行阶梯状、多层次的处理过程,建立信息融合的总体框架便成为首要解决的关键问题。已有很多学者试图从功能和结构上来构造多传感器信息融合框架。最具有权威的是 DFS(美军三军政府组织—JDL 下面的 C³I 技术委员会数据融合专家组)提出的功能模型。它将融合功能分为四级:一级融合为多传感器数据融合;二级融合为态势估计;三级融合为威胁估计;四级融合为传感器管理。

一个完整的融合模型应该具有分级式的全并行结构,即信息融合模型既具有层内融合也应具有层间融合。从结构上看,信息融合模型与神经网络的结构非常相似,所以可用神经网络对信息融合模型的结构进行描述^[3]。信息融合的本质是一个由底层至顶层的多源信息逐层抽象的信息处理过程,融合的层次越高,信息的表示越抽象,不确定性就越小。

2.2 INS/GPS/TAN/SMN 组合系统的信息融合层次结构

关于军用组合导航/制导多传感器信息融合的

整体结构,国内外的研究报道不多。根据四组合系统的特点,我们将信息融合的层次划分为:传感器层、子系统层、组合系统层和决策管理层四个融合层次。四组合系统的整体融合体系结构如图 1 所示。

(1) 传感器层

传感器层是指四组合系统中用到的各种传感器:惯导传感器层包含陀螺仪和加速度计等;GPS 传感器层包含 GPS 接收机等;地形匹配传感器层包含气压高度表和无线电高度表等;景象匹配传感器层包含 CCD 相机或红外成像仪或合成孔径雷达 SAR 等。传感器层的数据直接来自硬件,可以是最原始的数据也可以是经过解算的数据,这些数据夹杂各种干扰和噪声,经过处理方可使用。

(2) 传感器子系统层

传感器子系统层的融合是对各子传感器系统的原始数据作相应的解算和状态估计,不同的传感器子系统,对应于不同的信息处理方法和不同的信息处理过程。地形匹配子系统针对不同的应用对象有不同的地形匹配算法,TERCOM(地形轮廓匹配算法)和 SITAN(美国桑地亚地形辅助导航算法)是地形匹配技术中的两种典型算法。SITAN 算法具有较好的实时性,允许较大的飞行机动性,所以 SITAN 算法比 TERCOM 算法更适合于在战术飞机上使用。但在系统实时性要求不高,飞行较平稳,但体积要求小、机载记录体有限的情况下,如用在巡航导弹上,TERCOM 算法比 SITAN 算法更有优势。对于景象匹配子系统,有平均绝对差匹配算法 MAD、修正相关系数匹配算法 CCF 等粗匹配算法,还有贝叶斯、最小二乘等精匹配算法。对于不同的基准图和实时图,又存在多种边缘检测、特征提取及图像融合算法。传感器子系统层的融合结果可以输出给组合系统层或决策管理层,为更高层次的融合做好数据准备。

(3) 组合系统层

四组合系统主要有以下六个组合系统层:惯性/GPS、惯性/地形匹配、惯性/景象匹配、惯性/GPS/地形匹配、惯性/GPS/景象匹配和惯性/地形匹配/景象匹配。由于组合系统层各个传感器的数据在采集时刻、采集频率及所用坐标系上不尽相同,所以组合系统层将利用两个以上的传感器在空间、时间上的冗余或互补信息,依据某种准则来进行融合,如进行数据关联(相关)、坐标变换、时间融合、空间融合等。

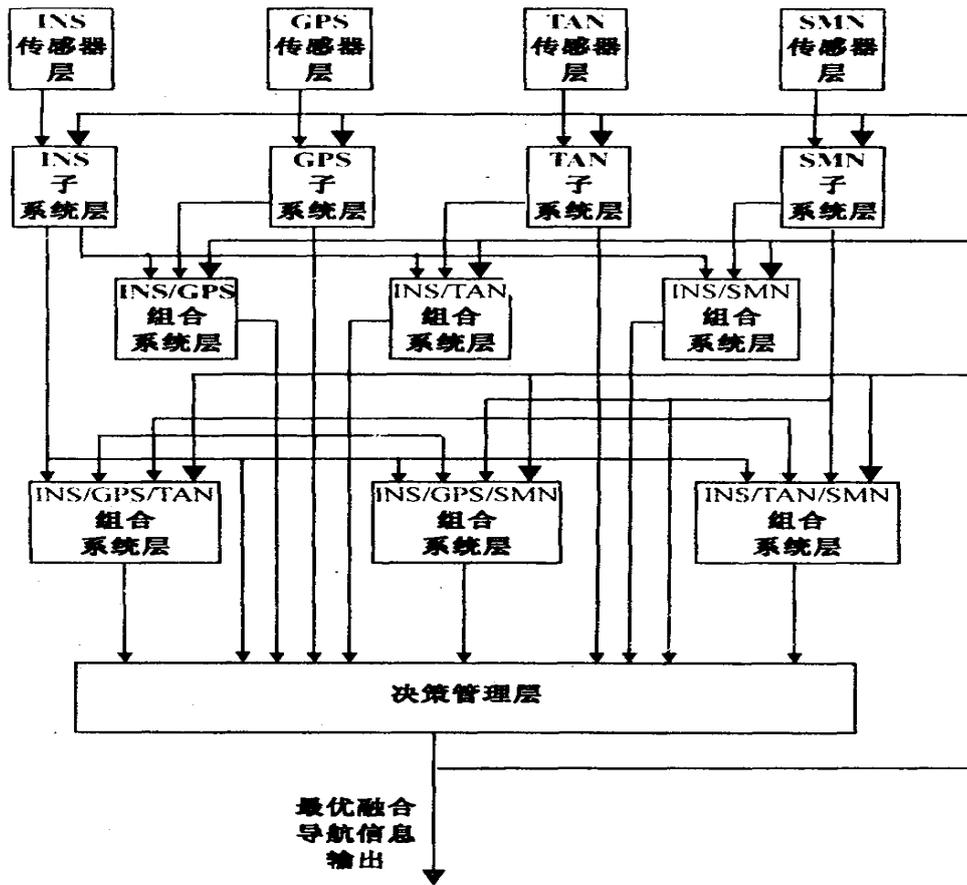


图1 INS/GPS/TAN/SMN 四组合导航系统信息融合层次结构图

Fig. 1 Information fusion architecture of INS/GPS/TAN/SMN integrated systems

(4) 决策管理层

决策管理层输出的是一个联合决策结果, 通过对传感器子系统层和组合系统层输出的特征或决策进行再融合再决策, 最终形成整个系统的一个综合性特征或决策. 同时决策层还对多传感器子系统层、组合系统层进行协调管理、优化组合、任务分配和排序、传感器工作模式和工作区域切换等, 以获得传感器资源的最佳利用和系统总体上的最优性能. 如在高空导航区域, 可工作在 INS/GPS/SAR/红外工作模式; 在低空山地丘陵区域, 可工作在 INS/GPS/TAN 模式; 而在低空平坦区域, 可工作在 INS/GPS/CCD 模式.

3 多传感器信息融合的方法(Multi-sensor information fusion methods)

对于多传感器系统来说, 信息具有多样性和复杂性, 因此对信息融合方法的基本要求是具有鲁棒性和并行处理能力. 此外还有方法的运算速度和精度, 与前续预处理系统和后续信息识别系统的接口性能, 与不同技术和方法的协调能力, 对信息样本的

要求等等. 一般情况下, 基于非线性的数学方法, 如果它具有容错性、自适应性、联想记忆和并行处理能力, 则都可以用来作为融合方法. 目前信息融合方法基本上可概括为随机类和人工智能类两大类. 随机类方法有加权平均法、卡尔曼滤波法、贝叶斯估计、统计决策、聚类分析法、小波变换法、D-S 证据推理等; 而人工智能类则有模糊聚类理论、专家系统、神经网络等. 目前已有不少研究工作将人工智能方法引入随机类方法, 如神经网络与卡尔曼滤波的结合、与 D-S 证据推理理论的结合、与小波变换的结合等. 可以预见神经网络与人工智能等新概念、新技术在多传感器信息融合中将起到越来越重要的作用.

3.1 基于联邦卡尔曼滤波的信息融合

1988 年, Carlson 提出了联邦卡尔曼滤波器的信息融合算法, 该方法主滤波器的融合周期可选定, 从而大大减少了计算量, 融合方法简单有效. 并且由于信息分配因子的引入使得系统的容错性得到很大改善^[4]. 图 2 为四组合系统中联邦卡尔曼滤波器结构框图. 在目前看到的文献中, 本文首次采用了由三个局部滤波器组成的联邦卡尔曼滤波器结构. 这一

结构的细节问题有待进一步研究。

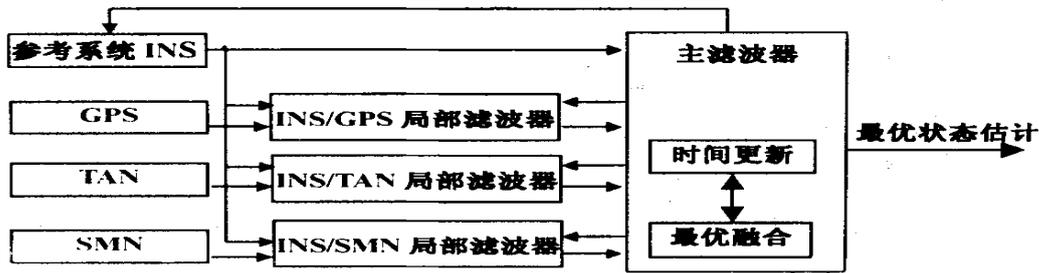


图2 四组合系统联邦卡尔曼滤波器结构框图

Fig. 2 Federal kalman filter architecture of the integrated system s

联邦卡尔曼滤波已成功地应用于组合导航/制导系统的信息融合上。卡尔曼滤波在传感器子系统层可进行局部融合,在组合系统层可进行全局融合。在联邦卡尔曼滤波中,各子系统信息分配系数的取值决定着整个联邦卡尔曼滤波器的性能。子系统精度越高,信息分配权值就应该越大;反之,精度差的子系统,其信息分配权值就应该越小。因此近年来,针对联邦卡尔曼滤波算法中,信息自适应分配的问题研究较多^[5-8]。

3.2 基于 D-S 证据推理理论的信息融合

D-S 证据理论拓宽了贝叶斯理论,解决了一般水平的不确定性问题。根据人的推理模式,采用概率区间和不确定区间来确定多证据下假设的似然函数,还能计算任一假设为真条件下的似然函数值,因而具有较大的应用前景。D-S 证据理论能融合不同层次上的属性信息,能区分不确定性信息与未知性信息,能较好地解决报告冲突,容错能力强,在信息融合技术中得到广泛的应用。在已公开的美国国防部研究报告中也发现了采用 D-S 方法进行特征级融合的实验系统。

目前, D-S 证据理论主要用在决策级的属性融合上。在四组合景象匹配中,应用 D-S 证据理论可对多种特征提取算法的可匹配度进行融合决策,以根据图像质量的不同,而选择不同的图像特征提取算法。在基于知识的景象匹配方法中,也可用 D-S 证据理论融合各种匹配结果,最终得到支持度最大的匹配结果,进一步提高景象匹配的定位精度。

3.3 基于模糊聚类的信息融合

模糊聚类多用于图像融合与图像边缘检测。聚类是按照一定的标准对用一组参数表示的样本群进行分类的过程。其中比较常用的是模糊 c-均值聚类算法。模糊聚类的过程,也就是样本中的特征参数被融合、样本按标准被分类的过程。当选定一种相似性度量、差别检验以及停止规则后,就可得到一种特定

的聚类分析算法。一般来讲,相似性度量的定义、聚类算法的选择、数据的排列方位,甚至输入数据的次序,都可能影响聚类的结果。因此,在使用聚类分析法时,应对其有效性和可重复性进行分析,已形成有意义的属性聚类结果。

3.4 基于小波变换的多传感器信息融合

小波变换的多尺度和多分辨率特性可在信息融合中起到数据融合、特征提取的作用,近年来,小波变换在图像边缘检测、图像融合和图像分类中得到广泛的应用^[9,10]。利用小波进行边缘提取,并在此基础上进行图像匹配,其效果均优于其它边缘检测算法^[11]。另外,小波变换亦成为图像融合算法研究的焦点^[12-15],在对可见光图像和红外图像融合研究中已有不少工作。

基于小波变换的图像融合,就是将待融合的原图像首先进行小波变换,将其分解为逼近图像和细节图像,然后进行融合。小波变换可将原始图像的边缘特征按尺度和方向映射到由小波变换系数构成的金字塔结构的各层中,在相同的尺度下,可对多幅原始图像在小波变换域内进行基于像素级的特征融合。融合后的图像具有以下特点:集多幅原始图像的特征于一体,特征信息多而不丢失,除了便于进行图像存储和传输外,在此基础上进行图像分类和图像配准,其效果和配准精度均优于其它的经典方法。

在四组合系统中,利用多源图像进行景象匹配将是一个重要的发展方向。例如在无人机上就装载了多种图像传感器,如可见光 CCD 摄像机、红外摄像机、合成孔径雷达 SAR。这三种图像传感器工作范围与条件各不相同,成像机理与成像效果各不相同。为此,本文提出了一种基于小波变换的图像融合/匹配方法,原理框图如图 3 所示。经过融合的图像具有更多的特征信息,在此基础上进行景象匹配或目标识别,将得到更高的匹配概率和识别率,从而可以提高导航/制导的精度。

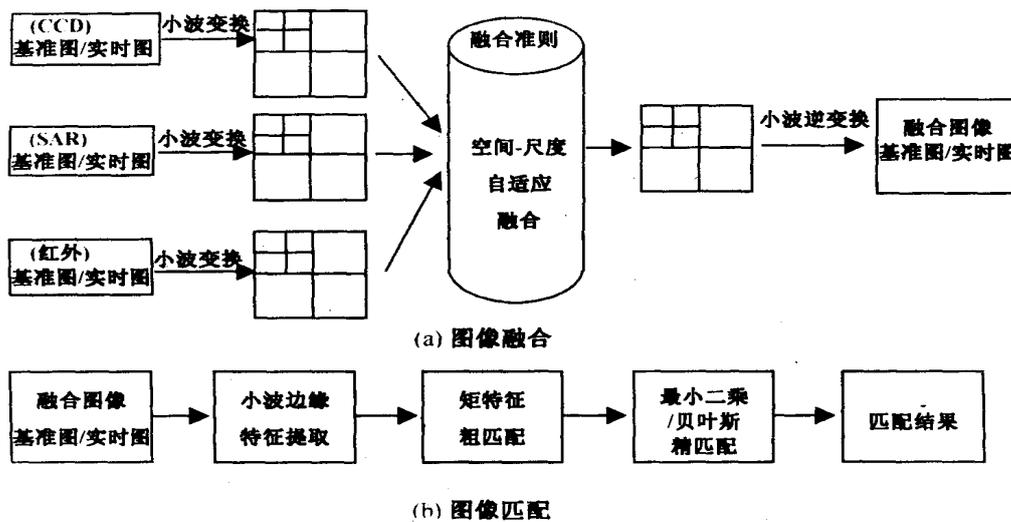


图3 基于小波变换的图像融合/匹配原理框图

Fig. 3 Principle and frame of the wavelet based images fusion/matching

3.5 基于神经网络的多传感器信息融合

神经网络具有良好的容错性、层次性、可塑性、自适应性、联想记忆和并行处理能力。近年来,神经网络技术已被广泛地应用于信息融合、故障诊断及其它各个领域^[16-18]。将神经网络与其它方法相结合进行信息融合技术的研究,效果显著,已形成一种研究趋势。比如小波与神经网络,卡尔曼滤波与神经网络,D-S 证据与神经网络,模糊聚类与神经网络,遗传算法与神经网络等。

传统的卡尔曼滤波理论要求精确的系统数学模型和噪声统计这两种先验知识,目前的卡尔曼滤波算法及其各种改进形式,多是对系统模型复杂程度和系统精度这两方面进行折衷考虑,而难以同时解决这两方面的问题。近年来,神经网络被成功地应用于状态估计问题^[19]。神经网络算法适合于解决大规模的优化问题,并能保证算法的实时性。由于 Hopfield 网络是一种稳定的反馈动力学系统,其结构与信息融合模型的结构很相似,而且,神经网络滤波算法对系统噪声和测量噪声统计特性的要求可放宽,将 Hopfield 网络应用于四组合系统,进行信息融合研究,可得到与卡尔曼滤波同等的精度^[20]。

在景象匹配中,还可利用神经网络对实时图像进行自动选取,评判实时图像质量的优劣,剔除质量坏的图像后,再进行匹配计算,从而可提高图像匹配算法的鲁棒性和稳定性^[22]。

多传感器信息融合是一门新兴的交叉学科,上面介绍的几种融合方法可以相互结合,也可以应用于组合导航/制导融合结构的不同层次上。

4 结论(Conclusion)

本文以 INS/GPS/TAN/SMN 四组合系统中的信息融合技术的融合结构与融合方法为对象进行了综述和讨论。综上所述,比较有前景的信息融合研究方法是基于模糊逻辑、小波分析、神经网络等人工智能的新方法,以及这些新方法与传统的随机类方法相结合的随机—人工智能的信息融合方法。

参 考 文 献 (References)

- 1 Richard Aboulafia. Outlook And Specifications Of World Helicopter Industry. Aviation Week & Space Technology, 2000
- 2 情报交流, 当代部分国外主要巡航导弹概况. 飞航导弹, 2000, (4)
- 3 马俊, 孙即祥. 信息融合模型的神经网络描述. 航空电子技术, 1998, (1)
- 4 Carlson N A. Federated Filter For Fault-tolerant Integrated Navigation Systems. Proc. Of IEEE PLANS, 1988, 110~119
- 5 邱红专, 张洪钺. 一种具有容错性的分散化滤波算法. 航空学报, 1998, 19(6)
- 6 房建成, 李学恩, 申功勋. INS/CNS/GPS 智能容错导航系统研究. 中国惯性技术学报, 1999, 7(1)
- 7 柏钢, 万德钧等. 联邦卡尔曼滤波在 GPS/DR 车辆导航系统中的应用. 东南大学学报, 1999, 29(2)
- 8 吴秋平, 万德钧. 车辆组合导航系统中多传感器信息的自适应融合. 仪表技术与传感器, 1998, (11)
- 9 蒋晓瑜等. 基于小波变换的多分辨率图像融合. 北京理工大学学报, 1997, 17(4)
- 10 王耀南. 小波神经网络的遥感图像分类. 中国图像图形学报, 1999, 4(A)(5)
- 11 黄锡山, 陈哲. 景象匹配定位中的图像边缘检测算法研究. 中国惯性技术学报, 2001, 9(1)

- 12 Burl P J, A Delson E H. Merging images Through Pattern Decomposition. SPIE Applications Of Digital Image Processing VIII, 1985, 575: 173~ 181
- 13 Toed A, Van Ruyven L J. Merge Thermal And Visual Images By A Contrast Pyramid. Optical Engineering, 1989, 28: 789~ 792
- 14 Toed A. Multiscale Contrast Enhancement With Applications To Image Fusion. Optical Engineering, 1992, 31: 1026~ 1031
- 15 Ranchin T, Wald L. Efficient Data Fusion Using Wavelet Transform: The Case Of SPOT Satellite Images. SPIE Mathematical Imaging, 1993, 2034: 171~ 176
- 16 John Sum, Chrsing Leung, Gilbert H. Young, and Wing-kay Kan. On The Kalman Filtering Method In Neural- Network Training And Pruning. IEEE TRANSACTIONS ON NETWORKS, 1999, 10(1): 161~ 166
- 17 Aidong Adam Ding. Neuralnetwork Prediction With Noisy Predictors. IEEE TRANSACTIONS ON NETWORKS, 1999, 10(5): 1196~ 1203
- 18 H Wang, Y Wang. Neuralnetwork-based Fault-tolerant Control of Unknown Nonlinear Systems. IEE Proc. -Control Theory Appl. 1999, 146(5): 389~ 398
- 19 Kanekar A J, Feliachia. State Estimation Using Artificial Neural Networks. Proceeding of IEEE Systems And Engineering Conference. 1990, 552~ 556
- 20 Sun Q, Alouani A T, Rice T R, etc. A Neural Network Computational Algorithm For Discrete Time Linear System State Estimation. Proceedings Of The 1992 IEEE/INNS International Joint Conference On Neural Networks, 1992, (1): 443~ 458
- 21 苏惠敏, 高健宏, 陈哲. 一种基于 BP 网络的实时图像自动选取算法. 北京航空航天大学学报已录用, 2000

作者简介

江春红(19-), 女, 博士生. 研究领域为多传感器信息融合技术, 组合导航技术, 图像处理技术, 目标识别与神经网络等.

(上接第 530 页)

- 2 D E Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Reading, MA: Addison-Wesley, 1989
- 3 Cavicchio D J. Reproductive Adaptive Plans in Proceedings of the ACM 1972 Annual Conference, 1972: 1~ 11
- 4 De Jong K A. An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive System: Ph. D. Dissertation. University of Michigan, Ann Arbor, 1975
- 5 J J Grefenstette. Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Vol. 16, No. 1, 1986: 122~ 128
- 6 Vassilios Petridis, and Anastasios Bakirris, Varying Fitness Function in Genetic Algorithm Constrained Optimization: The Cutting Stock and Unit Commitment Problem, IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1998, 28(5): 629~ 640
- 7 R Yang I. Douglas, Simple Genetic Algorithm with Local Tuning: Efficient Global Optimizing Technique, Journal of Optimization Theory and Application, 1998, 98(2): 449~ 465
- 8 K Deb, D E Goldberg. An Investigation of Niche and Species Formation in Genetic Function Optimization, in Proceedings Third ICGA, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1989: 42~ 50
- 9 D E Goldberg, J Richardson. Genetic Algorithms with Sharing for Multimodal Function Optimization. in Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms, 1987: 41~ 49
- 10 D Beasley, D R Bull, R R Martin. A Sequential Niche Technique for Multimodal Function Optimization, Evolutionary Computation, 1993, 1(2): 101~ 125
- 11 J Craig Potts, Terri D. Giddens, and Surya B. Yadav, The Development and Evaluation of an Improved Genetic Algorithms Based on Migration and Artificial Selection, IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, 1994, 241: 73~ 86
- 12 Mark Jelasity, Tozsef Dombi, GAS, a Concept on Modeling Species in Genetic Algorithms, Artificial Intelligence, 1998, 99: 1~ 19
- 13 Günter Rudolph. Convergence Analysis of Canonical Genetic Algorithms. IEEE Trans on Neural Networks, 1994, 5(1): 96~ 101
- 14 A E Eiben, E H L Aarts, K M Van Hee. Global Convergence of Genetic Algorithms: A Markov Chain Analysis, in: Parallel Problem Solving from Nature, H. P. Schwefel and R. M? nner, Eds. Berlin and Heidelberg: Springer, 1991: 4~ 12
- 15 D E Goldberg, K Deb. A comparative Analysis of selection Schemes used in Genetic Algorithms. In Rawlins, 1991: 69~ 91
- 16 Thomas B? ck. Evolutionary Algorithms in Theory and Practice, Oxford University Press, New York, 1996

作者简介

喻寿益(1940-), 教授, 博士生导师. 研究领域为自适应控制, 进化算法的理论与应用, 人工智能.

郭观七(1963-), 博士研究生, 副教授. 研究领域为遗传算法, 人工智能.