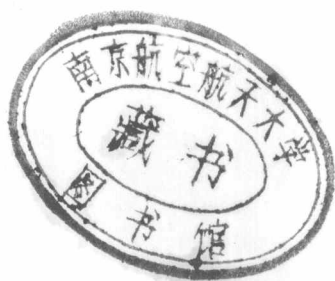


自动化学院

031 系



序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物会议名称	年卷期	类别
1	胡寿松 刘亚	正高 博士	031 031	Robust H_{∞} control of multiple time-delay uncertain nonlinear system using fuzzy model and adaptive neural network	Fuzzy Sets and Systems	2004, 146	
2	胡寿松 徐德友 张敏	正高 博士 博士	031 031 031	基于粗糙神经网络的歼击机操纵面智能故障诊断	南京师范大学学报	2004, 4, 3	
3	刘亚 胡寿松	博士 正高	031 031	不确定非线性系统的模糊鲁棒跟踪控制	自动化学报	2004, 30, 6	
4	刘亚 胡寿松	博士 正高	031 031	基于自适应神经网络的不确定非线性系统模糊跟踪控制	控制理论与应用	2004, 21, 5	
5	刘亚 胡寿松	博士 正高	031 031	基于模糊模型的鲁棒自适应重构飞行控制	航空学报	2004, 25, 2	
6	刘亚 胡寿松	博士 正高	031 031	基于自适应不对称高斯基函数网络的可靠飞行跟踪控制	航空学报	2004, 25, 5	
7	刘亚 胡寿松	博士 正高	031 031	一类离散不确定时滞系统的鲁棒模糊控制	南京理工大学学报	2004, 28, 2	
8	侯霞 胡寿松	博士 正高	031 031	一种新的细分加权小波	自动化学报	2004, 30, 6	
9	朱其新 胡寿松 刘亚	博士 正高 博士	031 031 031	无限时间长时延网络控制系统的随机最优控制	控制理论与应用	2004, 21, 3	
10	朱其新 胡寿松	博士 正高	031 031	网络控制系统的能控性和能观性	控制与决策	2004, 19, 2	
11	朱其新 胡寿松	博士 正高	031 031	网络控制系统的随机输出反馈控制	应用科学学报	2004, 22, 1	
12	何亚群 胡寿松	博士 正高	031 031	不完全信息的多属性粗糙决策分析方法	系统工程学报	2004, 19, 2	
13	何亚群 胡寿松	博士 正高	031 031	一种基于粗糙一模糊集成模型的决策分析方法	控制与决策	2004, 19, 3	
14	何亚群 胡寿松 侯霞	博士 正高 博士	031 031 031	具有区间数的粗糙神经网络故障认定方法	应用科学学报	2004, 22, 3	
15	何亚群	博士	031	基于可用度的飞机可修件需求分析	系统工程与电子技术	2004, 26, 6	
16	何亚群 胡寿松	博士 正高	031 031	New method for measuring fuzziness in rough sets	Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics	2004, 21, 1	
17	李医民 胡寿松	博士 正高	031 031	基于生态位技术的Fuzzy控制方法	系统工程理论与实践	2004, 24, 3	
18	李医民 胡寿松	博士 正高	031 031	引入生态位技术的遗传算法研究及应用	系统工程	2004, 22, 5	
19	李医民 胡寿松	博士 正高	031 031	复杂生态系统的模糊数学模型	模糊系统与数学	2004, 18, 2	

20	张正道 胡寿松	博士 正高	031 031	基于RBF神经网络的免疫控制器结构	应用科学学报	2004, 22, 3	
21	张正道 胡寿松	博士 正高	031 031	基于神经网络免疫集成的非线性时间序列故障 预报	东南大学学报	2004, 34, 增	
22	潘晓宁 胡寿松 侯霞	博士 正高 博士	031 031 031	不确定非线性系统的神经网络自适应 H_∞ 跟踪 控制	控制与决策	2004, 19, 6	
23	肖迪 胡寿松	博士 正高	031 031	一种基于相近关系的粗集理论扩展方法及属性 约简	系统工程	2004, 22, 9	
24	肖迪 胡寿松	博士 正高	031 031	一种支持向量机粗糙神经网络的构造与分类决 策	信息与控制	2004, 33, 3	
25	孙国强 胡寿松	硕士 正高	031 031	基于神经网络动态逆的歼击机自适应跟踪控制	南京航空航天大学 学报	2004, 36, 4	
26	孔秋菊 胡寿松	硕士 正高	031 031	基于知识的歼击机起飞爬升阶段的故障诊断与 报警	东南大学学报	2004, 34, 增	
27	陈谋, 姜长生	讲师 教授	031 031	基于神经网络的一类非线性系统自适应滑模控 制	应用科学学报	Vol.22, No 1, 2004.3	
28	耿延洛 姜长生	博士 教授	031 031	Multi-Fighter Coordinated Multi-Target Attack System,	Multi-Fighter Coordinated Multi-Target Attack System,	Vol.21, No 1, 2004.3	
29	樊春霞 姜长生	博士 教授	031 031	统一混沌系统自适应同步控制	系统工程与 电子技术	2004, 26, 3	
30	樊春霞 姜长生	博士 教授	031 031	一种基于混沌映射的图像加密算法	光学精密工程	2004, 12, 2	
31	樊春霞 姜长生	博士 教授	031 031	基于变结构的不确定混沌系统时滞反馈控制	吉林大学学报 (理学版)	2004, 42, 2	
32	陈谋 姜长生 梅蓉	讲师 教授	031 031	基于 H_2/H_∞ 混合控制的空-空导弹鲁棒制导律 的设计	战术导弹控制技术	2004, 45, 2	
33	陈谋 姜长生 吴庆宪	讲师 教授	031 031	基于神经网络的一类不确定非线性系统自适应 H_∞ 跟踪控制	光学精密工程	2004, 12, 4	
34	曹邦武 姜长生 杨满忠	博士 教授	031 031	电视指令制导空地导弹对目标的毁伤性能研究	电光与控制	2004, 11, 2	
35	朱荣刚 姜长生	博士 教授	031 031	Adaptive flight control system of armed helicopter using wavelet neural network method.	Transaction of Nanjing University of Aero&Astro	2004, 21, 2	
36	陈谋 姜长生 梅蓉	讲师 教授	031 031	基于干扰观测器的新一代歼击机鲁 棒飞行逆控制器设计	飞机设计	2004, 105, 1	

37	辅小荣 姜长生 朱亮	博士 教授 博士	031 031	基于数据融合的自适应神经网络模糊控制系统设计	计算机仿真	2004, 21, 7	
38	朱永红 姜长生	博士 教授	031 031	Robust H-infinity adaptive control for uncertain cascaded nonlinear system	控制理论与应用	2004, 21, 4	
39	邹庆元 姜长生 吴抵	博士 教授	031 031	Evolution Fuzzy Guidance Law With Self-Adaptive Region	Transactions of Nanjing Uni-versity of Aeronautics and Astronautics	2004, 21, 3	
40	陈谋 姜长生 吴庆宪	讲师 教授 教授	031 031	基于观测器的一类不确定非线性系统自适应输出反馈控制	系统工程与电子技术	2004, 26, 9	
41	陈谋 姜长生 吴庆宪	讲师 教授 教授	031 031	基于非线性控制方法的倒立摆系统控制	控制理论与应用	2004, 21, 5	
42	樊春霞 姜长生	博士 教授	031 031	统一混沌系统Backstepping同步控制	哈尔滨工业大学学报	2004, 36, 11	
43	陈谋 姜长生	讲师 教授		Robust Sliding mode Decentralized control for a class of large-scale system with neural networks.	Transaction of Nanjing University of Aero&Astro	2004, 21, 4	
44	曹邦武 姜长生	博士 教授	031 031	电视指令制导空地导弹垂直命中目标的末制导系统研究	宇航学报	2004, 25, 4	
45	俞孟蕪 姜长生	博士 教授		耙吸挖泥船挖泥集成控制系统研制	中国造船	2004, 45, 4	
46	俞孟蕪 姜长生	博士 教授	031 031	The application of compensatory fuzzy neural network in plastics thickness control system	2004 8 th international conference on control, automation, robotics and vision kunming, china, 6-9 th December	2004	
47	王岩青 姜长生	博士 教授	031 031	非线性不确定系统的鲁棒耗散性研究	解放军理工大学学报	2004, 5, 6	
48	王凤如	副教授	031	巧妙使用Simulink绘制非线性系统的相轨迹	电气电子教学学报	2004 年26 卷6 期	
49	张绍杰 胡寿松 刘春生	助教	031	基于粗糙集的多层容错神经网络故障诊断	计算机测量与控制	2004, 12, 6	
50	杨一栋 黄屹 王新华	教授	031	直升机模型跟踪光传飞控技术研究	航空学报	2004, 25, 2	

51	杨一栋 黄屹 李林华	教授	031	直升机自动过渡悬停飞行控制系统设计	南京航空航天大学学报	2004, 36, 2	
52	杨一栋 熊鑫 王新华 李林华	教授	031	基于显模型跟踪的直升机自动飞行模态设计	海军航空工程学院学报	2004, 19, 1	
53	曹东 杨一栋 余勇 范彦铭	教授	031	Automatic Carrier Landing System with Gust-rejection Capability	Journal of Harbin Institute of Technology	2004, 11, 2	
54	张元生 杨一栋 马智周 彭志宽	教授	031	三轴转台谐波幅相自适应控制系统的设计	南京航空航天大学学报	2004, 36, 5	
55	舒娟 杨一栋	教授	031	航天飞机末端区域能量管理段制导技术概述	飞行力学	2004, 22, 3	
56	张军 杨一栋 曹东	教授	031	航天飞机自动着陆技术概念研究	航天控制	2004, 22, 2	
57	南卫生 杨一栋 熊鑫	教授	031	基于MFCS的直升机协调转弯模态设计	海军航空工程学院学报	2004, 19, 2	
58	王庆田 杨一栋 王新华 周波 邹庆元	教授	031	综合火力/飞行控制系统轰炸模态的设计	海军航空工程学院学报	2004, 19, 5	
59	温瑾 杨一栋 王新华	教授	031	光传飞行控制系统中WDM技术的开发研究	电光与控制	2004, 11, 2	
60	王新华 杨一栋 周波	助教	031	一种具有抑风性能的综合火力/飞行控制系统	火力与指挥控制	2004, 29, 2	
61	熊智 刘建业 曾庆化 赖际舟	讲师 正高 博士 博士	031 031 031 031	景像匹配辅助导航系统中的图像匹配算法研究	中国图象图形学报	2004,9,1	
62	刘建业 熊智 段方	正高 讲师 博士	031 031 031	考虑量测滞后的INIS/SAR组合导航非等间隔滤波算法研究	宇航学报	2004,25,6	
63	王志胜 刘建业 周军	博士 正高 不详	031 031 不详	推广联合滤波算法在卫星组合定姿系统中的应用	宇航学报	2004,25,5	

64	林雪原 刘建业 袁 信 赖际舟	博士 正高 正高 正高	031 031 031 031	一种基于伪距的RDSS/SINS组合导航系统	上海交通大学学报	2004,38,10	
65	林雪原 刘建业 蒋秀珍	博士 正高 外单位	031 031 外单位	RDSS/Doppler/GPS/SINS组合导航系统研究	哈尔滨工业大学学报	2004,29,3	
66	林雪原 刘建业 汪淑华	博士 正高 正高	031 031 031	RDSS/SINS组合系统的建模与仿真研究	武汉大学学报(信息科学版)	2004,29,3	
67	赵 丽 刘建业 范胜林	硕士 正高 副高	031 031 031	基于QR分解的快速解算初始整周模糊度方法的研究	南京航空航天大学学报	2004,36,2	
68	林雪原 张立民 刘建业 李玉光	博士 外单位 正高 外单位	031 外单位 031 外单位	基于RDSS辅助的Doppler/SINS组合导航系统研究	中国空间科学技术	2004, ,1	
69	赵 伟 万德均 刘建业	讲师 正高 正高	031 外单位 031	一种用INS辅助GPS周跳检测和求解整周模糊度的方法	中国空间科学技术	2004,24,2	
70	赖际舟 刘建业 林雪原 熊 智 曾庆化	博士 正高 博士 讲师 博士	031 031 031 031 031	低阶卡尔曼滤波器在低成本SIAHRS中的实现研究	中国空间科学技术	2004,24,1	
71	段 方 刘建业 赖际舟 熊 智	博士 正高 博士 讲师	031 031 031 031	同温层气球平台反向定位系统的研究	中国空间科学技术	2004,24,3	
72	赵 丽 刘建业 林雪原 熊 智	硕士 正高 博士 讲师	031 031 031 031	双星定位系统改进方案与仿真研究	中国空间科学技术	2004, ,4	
73	曾庆化 刘建业 熊 剑 李荣冰	博士 正高 硕士 博士	031 031 031 031	三维磁传感器模拟器的研究与实现	传感器技术	2004,23,2	
74	曾庆化 刘建业 赖际舟 熊 智	博士 正高 博士 讲师	031 031 031 031	环形激光陀螺的发展及其最新动态	传感器技术	2004,23,11	
75	赖际舟 刘建业	博士 正高	031 031	干涉型光纤陀螺的性能评价	传感器技术	2004,23,9	

	林雪原 熊 智	博士 讲师	031 031				
76	冷雪飞 刘建业 熊 智	博士 正高 讲师	031 031 031	合成孔径雷达在导航系统中的应用	传感器技术	2004,23,10	
77	熊 剑 刘建业 孙永荣 李荣冰	硕士 正高 副教授 博士	031 031 031 031	数字磁罗盘的研制	传感器技术	2004,23,8	
78	赵 伟 万德均 刘建业 袁 信	讲师 正高 正高 正高	031 外单 位 031 031	GPS载波相位整周模糊度的在航快速算法研究	中国惯性技术学报	2004,12,1	
79	李荣冰 刘建业 曾庆化 华 冰	博士 正高 博士 博士	031 031 031 031	基于MEMS技术的微型关系导航系统发展现状	中国惯性技术学报	2004,12,06	
80	曾庆化 刘建业 林雪原 刘春华	博士 正高 博士 学士	031 031 031 外单 位	基于单片机的 BSMA 法在 求取农历节气中的应用研究	微型机与应用	2004,23,1	
81	吴 昊 刘建业 赵 伟 段 方	硕士 正高 讲师 博士	031 031 031 031	基于VC和OpenGL的导航仿真系统三维物体建模 的实现	航空电子技术	2004,35,2	
82	熊 剑 刘建业 孙永荣	硕士 正高 副教授	031 031 031	捷联磁传感器仿真器的研究与实现	测控技术	2004,23,7	
83	张晓斌 刘建业 赵 伟	硕士 正高 讲师	031 031 031	基于组件技术的导航可视化仿真的研究与设计	微计算机应用	2004,25,5	
84	曾庆化 刘建业 熊 智	博士 正高 讲师	031 031 031	多位置融合算法在激光陀螺 惯性器件误差标定中的应用研究	中国航空学会控制 与应用第十一届学 术年会	2004,8	
85	赖际舟 刘建业 林雪原 熊 智	博士 正高 博士 讲师	031 031 031 031	基于陆地战车的光纤SINS/DR/北斗双星信息融 合技术研究	中国航空学会控制 与应用第十一届学 术年会	2004.8	
86	曾庆化 刘建业 赖际舟 杜亚玲	博士 正高 博士 博士	031 031 031 031	Research Realization of Hardware Algorithm of strapdown inertial AHRS Based on DSP	惯性导航技术与智 能交通国际交流会	2004,10	
87	赖际舟 刘建业 祝燕华	博士 正高 硕士	031 031 031	Research on Stochastic modeling on IFOG	惯性导航技术与智 能交通国际交流会	2004,10	

88	段 方 刘建业 郁 丰	博士 正高 博士	031 031 031	Research on LEO Autonomous Navigation Based on Image Motion and Star Sensor	惯性导航技术与智能交通国际交流会	2004.10	
89	康国华 刘建业 熊智 祝燕华	博士 正高 博士 硕士	031 031 031 031	Realization of GPS/ SST /SINS Filter Arithmetic For Ballistic Missile	惯性导航技术与智能交通国际交流会	2004.10	
90	沈雪松 孙永荣 李荣冰 陈 武	硕士 副教授 博士 教授	031 031 031 031	Research On A Vehicle Navigation And Monitoring System For Urban Traffic	惯性导航技术与智能交通国际交流会	2004,10	
91	华 冰 刘建业 熊 智	博士 正高 讲师	031 031 031	联邦自适应滤波在SINS/北斗/星敏感器组合导航系统中的应用	《东南大学学报(自然科学版)》增刊	2004,34(增刊)	
92	冷雪飞 刘建业 熊 智 邢广华	博士 正高 讲师 硕士	031 031 031 031	鲁棒Hausdorff距离在SAR/惯性组合导航图像匹配中的应用研究	《东南大学学报(自然科学版)》增刊	2004,34(增刊)	
93	华 冰 刘建业 熊 智	博士 正高 讲师	031 031 031	伽利略和GPS卫星导航系统几何精度因子比较分析	导航	2004,40,2	
94	刘 红 刘建业 林雪原 谷 雨	硕士 正高 博士 外单位	031 031 031 外单位	三星定位/DR/DMP车辆组合导航系统的研究	导航	2004,40,1	
95	何秀凤 刘建业	外单位 正高	外单位 031	基于GPS载波相位的微卫星姿态算法研究	空间科学学报	2003,23,1	
96	林雪原 张立民 刘建业 李玉光	博士 外单位 正高 外单位	031 外单位 031	双星定位系统/SINS深组合导航系统研究	空间科学学报	2003,23,5	
97	熊慧 刘建业 孙永荣	硕士 正高 讲师	031 031 031	基于蓝牙技术的微型车辆导航系统	计算机与现代化	2003, ,10	
98	刘红 刘建业 林雪原 谷雨	硕士 正高 博士 外单位	031 031 031	三星定位/DR/DMP车辆导航系统的研究	导航	2004,3月第1期	
99	石琼 沈春林	硕士 教授	031	真三维立体显示技术中静态成像技术的死区分析	计算机应用研究	2004年第3期	
100	唐超颖 沈春林	硕士 教授	031	滑模变结构控制在航天器姿态控制系统中的应用	兵工自动化	2004年第1期	

101	雷亚平 杨忠 刘剑慰 沈春林	硕士 博士后 讲师 教授	031	CPLD与16C554在无人机飞控计算机中的应用	航空计算技术	2004年第1期	
102	姜太平 沈春林 何亦征 王金岩	博士 教授	031	动态体显示技术中的体系化过程研究(英文)	Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronau	2004年第1期	
103	杨敏 沈春林	博士 教授	031	基本矩阵随机采样鲁棒估计	应用科学学报	2004年第2期	
104	雷亚平 杨忠 沈春林	硕士 博士后 教授	031	基于DSP的UAV飞控计算机设计与半物理仿真	飞机设计	2004年第1期	
105	吴文海 耿昌茂 罗德林 沈春林	博士 教授 博士 教授	031	某型战机追踪导引研究	飞机设计	2004年第1期	
106	石琼 沈春林 谭皓	硕士 博士 教授	031	基于OpenGL的三维建模实现方法	计算机工程与应用	2004年第18期	
107	杨敏 沈春林	博士 教授	031	未标定单幅结构场景图像的三维重构	中国图象图形学报	2004年第4期	
108	吴文海 耿昌茂 罗德林 沈春林	博士 教授 博士 教授	031	现代战机超机动攻击研究	南京航空航天大学 学报	2004年第4期	
109	宋燕燕 王金岩 沈春林	硕士 教授	031	模拟用地形图的生成及其实现	电脑开发与应用	2004年第8期	
110	罗德林 吴文海 李玉峰 沈春林	博士 教授 博士后 教授	031	战机追踪非线性H _∞ 导引律研究	南京航空航天大学 学报	2004年第5期	
111	吴文海 刁军 沈春林	教授 教授	031	时间最优的飞机追踪导引律研究	系统工程与电子技术	2004年第9期	
112	吴文海 罗德林 沈春林 耿昌茂	教授 博士 教授	031	基于滑模控制的非线性追踪导引律仿真设计	系统工程与电子技术	2004年第10期	
113	戴俊 杨忠 沈春林	硕士 博士后 教授	031	CPLD与16C554在无人机飞控计算机中的应用	东南大学学报(自然科学版)	2004年增刊第1期	

114	芮挺 沈春林 张金林	博士后 教授	031	基于字符特征的车车牌英文和数字字符白联想识别	模式识别与人工智能	2004年17 卷4期	
115	芮挺 沈春林 张金林	博士后 教授	031	车牌识别中倾斜牌照的快速矫正算法	计算机工程	2004年第 13期	
116	芮挺 沈春林 丁健	博士后 教授	031	基于最佳鉴别变换的HMM手写数字字符识别	中国图象图形学报	2004年第8 期	
117	杨忠 沈春林	副教授	031	基于PC的高速数据采集VCL组件的设计与实现	测控技术	2004, 23, 10	
118	杨忠 沈春林	副教授	031	DMA传输方式下高速数据采集的DLL实现	计算机工程与应用	2004, 40, 22	
119	任良 陆宇平	硕士 教授	031	增强Web Services消息级别的安全性	计算机时代	2004年第2 期	
120	赵长军 王从庆	硕士 副教授	035 035	基于神经网络延迟预测的Internet机器人远程控制	计算机测量与控制	2004 年 2 卷 3期	
121	王从庆 康迎梅 袁华	副教授 硕士 硕士	035 035 035	一种基于遗传算法的机器人补偿学习控制方法	南京航空航天大学学报	2004 年 36 卷2期	
122	王从庆 丁勇	副教授	035 035	现代控制理论教学改革与实践与探讨	南京航空航天大学学报(社会学科)	2004 年6 卷1期	
123	石宗坤 王从庆	硕士 副教授	035 035	空间双臂机器人系统的最优内力分配计算	东南大学学报	2004 年 34 卷Sup 期	
124	丁勇	讲师 硕士	031 031	Delphi下的液位控制系统设计与实现	工业控制计算机	2004, 03	
125	范胜林	副高	031	GPS定向定位系统	仪器仪表学报	2005, 25 卷, 06期	

基于知识的歼击机起飞爬升阶段的故障诊断与报警

孔秋菊 胡寿松

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要: 针对歼击机的起飞、爬升阶段, 数据量大且复杂, 对故障诊断要求精度高, 实时性好, 设计出粗集和神经网络相结合, 分层诊断的方法, 先定故障的类型, 然后定故障的度. 其中在粗集诊断部分, 提出了适合该研究对象的离散和简约方法, 从而得到了少量但足够用的决策规则, 使得实时诊断程序结构简单, 实时性好. 包含诊断和报警模块的实时程序证明, 此方法可以达到精度和实时性要求.

关键词: 故障诊断; 粗糙集; 神经网络; 起飞; 爬升

中图分类号: TP183 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0505(2004)增刊-0131-04

Fault diagnosis and alarm based on knowledge for take-off and climbing of fighter

Kong Qiuju Hu Shousong

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A diagnosis method based on rough set theory and neural network is proposed for take-off and climbing of fighter. In this phase, the data are large and complex and high precision and real-time diagnosis are required, therefore a scheme is formed to diagnose fault style first with rough set theory and then fault degree with neural network. Appropriate discretization method and reduction method are chosen and a few but enough decision rules are obtained, which can make the real-time diagnosis program simple. Real-time program with diagnosis module and alarm module proves that this method can satisfy the requirements.

Key words: fault diagnosis; rough set; neural network; take-off; climbing

大量的事故统计分析表明, 起飞、初始爬升和爬升阶段发生的事故占事故总数的 32.6%. 其中, 操纵面的硬件失效或损伤, 比如平尾或升降舵、副翼、方向舵等操纵面的突然卡死, 会破坏整个飞控系统的稳定性而导致飞机的坠毁. 1977 年 4 月 12 日, 美国三角航空公司的一架 DC-10 飞机就是因为左升降舵在起飞过程中卡死在上偏 19° 而导致坠毁的. 对于飞机的结构来说, “疲劳破坏” 是一种可怕的潜在危险. 1954 年, 世界上最早的喷气客机——英国的“慧星”号曾连续 2 次爆炸失事, 其原因就是执行舵面的“疲劳损伤”. 然而, 飞机在起飞及爬升阶段速度低、气动效率低, 一旦发生故障, 飞行员难以迅速地作出反应, 从而导致机毁人亡的惨祸.

故障诊断技术开始于 20 世纪 60 年代, 其发展经历了 2 个阶段: 以信号处理技术为手段的传统诊断阶段和基于人工智能的故障诊断阶段. 近年来, 随着人工智能技术的迅速发展, 特别是知识工程、专家系统和人工神经网络在诊断领域中的进一步应用, 基于人工智能的故障诊断方法得到了更加深入、系统的研究. 产生了专家系统故障诊断方法、基于案例的故障诊断方法、模糊故障诊断方法、故障树故障诊断方法、神经网络故障诊断方法和数据融合故障诊断方法等. 这些方法不需要被诊断对象的精确数学模型, 而且具有某些“智能”特性, 代表了故障诊断的发展方向. 而这些方法相互集成应用更是代表了故障诊断的发展方向.

本文研究歼击机起飞阶段的故障诊断情况, 数据量庞大, 加上这一阶段大都由飞行员手动操纵, 数据不确定性强, 针对这些特点本文提出一种基于粗集和神经网络分层诊断的方法, 能够快速而准确地诊断出故障的类型和大小(故障度), 并在软件实现时加入告警模块, 使得飞行员能够根据故障的类型和大小快速

收稿日期: 2004-06-28.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(60234010)、航空科学基金资助项目(02E52025)、国防基础科研资助项目(K1603060318).

作者简介: 孔秋菊(1979—), 女, 硕士生, weiyang99@hotmail.com; 胡寿松(联系人), 男, 教授, 博士生导师, hushousong_nuaa@163.com.

作出反应,以减少惨祸的发生.

1 基于知识的故障检测方法

本文以某型歼击机为背景来研究起飞爬升阶段的基于知识的故障诊断识别方法,所用的数据来源于作者前期根据真实的气动数据建立的某型歼击机实时仿真平台,故障类型复杂,数据量大,如果用一般的神经网络来识别,网络结构复杂,训练时间长,甚至达不到精度要求,诊断识别失败.

粗集理论是由波兰的数学家 Z. Pawlak 于 1982 年提出来的^[1],是一种刻画不完整性和不确定性的数学工具,能有效分析和处理不精确、不一致、不完整等各种不完备信息,并从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律.近年来粗集理论在各方面得到了广泛的应用,在故障诊断中的应用也得到了肯定^[2,3].本文研究的数据量来自真实的风洞吹风数据,存在很大的不完整性和不确定性,且数据量大,又由于在起飞阶段,各个状态量的变化范围小,诊断精度要求高,因此,本文采用粗集与 BP 神经网络相结合,分层诊断的方法,能够满足快速性和准确性的要求.

在粗集理论中,基于集合论学习的基本思想,即根据用户提出的发现任务,由用户指定的数据库中某一个或多个属性作为分类的标准,形成决策属性的子集,然后根据条件属性子集和决策属性子集,进行一系列的上、下近似计算,得到各个类别的分类规则.

粗集理论对论域知识的表达系统 S 可以表达为 $S = (U, C \cup D, V, f)$, 这里 U 是对象的集合, $C \cup D = R$ 是属性的集合, 子集 C 和 D 分别称为条件属性和决策属性, $V = \bigcup_{r \in R} V_r$ 是属性值的集合, V_r 表示了属性 $r \in R$ 的属性值范围, $f: U \times R \rightarrow V$ 是一个信息函数它指定 U 中每一对象的属性值. 若 $C \cap D = \emptyset$, 则称 S 为决策系统. 方便起见, 本文用 $(U, C \cup D)$ 表示决策系统.

决策系统 $(U, C \cup D)$, 称二元关系 $\text{IND}(R) = \{(x, y) \in U \times U \mid \forall r \in R, f_r(x) = f_r(y)\}$ 为 S 的不可分辨关系, 记为 $U/\text{IND}(R)$, 它构成了论域 U 的分类. 论域 U 中与对象 $u \in U$ 关于关系 R 等价的所有对象集合表示为 $I_R(u) = \{u' \in U \mid (u, u') \in U/\text{IND}(R)\}$. 为描述 U 中所有根据分类 $U/\text{IND}(R)$ 的信息可准确划分到决策关系 D 的等价类 $X \subseteq U/\text{IND}(R)$ 中去的对象集合, 定义条件属性 R 分类相对于决策分类的正域为 $\text{POS}_R(X) = R_-(X) = \{x \in U \mid U/\text{IND}(R) \subseteq X\}$. 如果对于 $R \subseteq C, \forall X \subseteq U/\text{IND}(D)$, 有 $\text{POS}_C(X) = \text{POS}_R(X)$ 成立, 且不存在 $R' \subset R$, 使 $\text{POS}_C(X) = \text{POS}_{R'}(X)$, 称子集 R 为系统的一个最小简约. 所有简约的集合记作 $S_{\text{red}}(C)$, C 的所有简约的交集称为核, 记为 $S_{\text{core}}(C)$, $S_{\text{core}}(C) = \bigcap S_{\text{red}}(C)$.

2 基于粗集的故障诊断识别方法的步骤

2.1 故障特征选择

仿真平台可以得到各种各样的数据, 为了减小后面的工作量, 必须对故障特征进行提取以得到最有用的故障特征. 故障提取主要依靠对飞控系统的知识和反复的实验数据分析, 本文提取对故障反应最敏感的迎角 α , 侧滑角 β , 滚转角 ϕ , 偏航角 ψ , 以及角速度 p, q, r , 来作为故障特征.

2.2 基于粗集的属性离散化方法

运用粗集理论处理决策表时, 要求决策表中各值用离散值表达. 如果决策表中某些条件属性或决策表属性的值域为连续取值(浮点数表达), 则在处理前必须经过离散化. 另外, 实际中的数据规模很大, 里面存储了大量的数据, 如果直接以这些数据来进行处理, 时间和空间的要求都很大, 如果将这些连续值的属性离散化, 就可以把数据集中的元组数量大大压缩.

离散化在整个规则获取过程中起着至关重要的作用, 好的离散化算法不仅丢失信息很少, 而且得到的规则的适应性较强. 布尔逻辑和粗集理论相集合的离散化算法是粗集理论中的离散化算法在思想上的重大突破, 是让其中一个断点或几个断点去区分 2 个实例的不同的不可分辨关系. 此算法的思想是首先在保持信息系统的不可分辨关系不变的前提下, 尽量以最少数目的断点集把所有实例的分辨关系区分开.

贪心算法的基本思想是每次选取可辨识矩阵元素中出现次数最多的断点加到新点集中, 然后把可辨识矩阵中含有此断点的元素去掉, 按此方法继续下去, 直到可辨识矩阵中的元素个数为零.

S. H. Nguyen 和 H. S. Nguyen 提出的改进的贪心算法^[4] 有效地减少了离散化算法的时间复杂度和空间

复杂度.根据此算法提出了下面的离散化算法.

P 为选取断点的集合, L 为实例被选取的断点所划分的等价类, C 为候选断点的集合.

第1步 $P = \emptyset; L = \{U\};$

第2步 对每个 $c \in C$, 计算 $W_p(c);$

第3步 选择 $W_p(c_{\max})$ 最大的断点 $c_{\max}$ 加到 P 中, $P = P \cup \{c_{\max}\}, C = C / \{c_{\max}\};$

第4步 对 $X \subset L$; 如果 $c_{\max}$ 把等价类划分为 X_1, X_2 , 那么从 L 中去掉 X , 把等价类 X_1, X_2 加到 L 中

第5步 如果 L 中所有的等价类都对应一种决策, 则停止, 否则转到第2步.

这种离散算法的优势在于空间复杂度为 $k^2 n \log n$, 时间复杂度为 kn (n 为实例总数, k 为属性个数), 得到了很大的简化, 适合离散数据量大的信息系统.

2.3 属性约简

属性的约简是一个 NP 完全问题, 这就为时效性要求较高诊断算法提出了较高的要求. 本文应用遗传算法 (generic algorithm) 求解决策表的最小简约^[5], 根据“核”的信息对遗传操作采取了一系列控制策略, 从而大大提高了求解效率. 该算法的适应度函数表达为

$$\text{fitness}(B) = (1 - \alpha) \times \frac{|A| - |B|}{|A|} + \alpha \times \min \left\{ \varepsilon, \frac{|[S \text{ in } S | S \cap B \neq \emptyset]|}{|S|} \right\} \quad (1)$$

3 仿真过程与结果

1) 故障特征提取与粗集故障类型识别

根据特征提取的结果, 选择 $\alpha, \beta, \phi, \psi, p, q$ 和 r 为故障特征, 随即作为粗集决策表中的条件属性. 本文选取 5 种故障类型来说明本方案的正确性, 标识为 0, 1, 2, 3, 4, 以此作为粗集决策表中的决策属性. 每一种故障类型又有不同的故障度, 本文选取一些有代表性的故障度来产生数据, 共产生 1 800 组数据, 建立了初始决策表, 如表 1 所示. 离散化后的结果如表 2 所示. 约简后的最小简约为 $\{n_{\alpha}, n_{\beta}, n_{\phi}, n_{\psi}, n_{p}, n_{q}, n_{r}\}$. 由最小简约得出 48 条决策规则.

表 1 用歼击机起飞爬升阶段的初始数据建立的决策表

No.	Alpha/(°)	Beta/(°)	Wx/((°) · s ⁻¹)	Wy/((°) · s ⁻¹)	Wz/((°) · s ⁻¹)	Psi/(°)	Theta/(°)	Phi/(°)	D
1	2.565 36	0	0	0	0.061 85	0	15.108 5	0	1
2	2.561 61	0	0	0	0.060 55	0	15.11	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
200	2.455 56	0	0	0	0.022 07	0	15.155 7	0	1
201	2.580 14	-0.002 6	2.781 16	-0.300 8	0.787 36	0	15.117 6	0.035 78	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 800	1.947 29	-0.163 78	1.894 36	-0.412 2	-1.50 37	-0.004 8	14.590 6	2.905 45	5

表 2 离散化后的决策表

No.	Alpha/(°)	Beta/(°)	Wx/((°) · s ⁻¹)	Wy/((°) · s ⁻¹)	Wz/((°) · s ⁻¹)	Psi/(°)	Theta/(°)	Phi/(°)	D
1	0	3	1	0	1	0	0	0	1
2	0	3	1	0	1	0	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
200	0	3	1	0	1	0	0	0	1
201	0	1	2	0	3	0	0	0	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1 800	0	0	1	0	0	0	0	0	5

2) 神经网络故障度识别

每种故障类型用一个神经网络来作故障度的识别, 由于上一步已经把数据分成了 5 类, 每一类的数据量已经很有限了, 用 BP 神经网络就可以快速地得出训练结果.

3) 把以上处理得到的决策规则和神经网络训练权值用 C++ 语言实现, 作为歼击机实时仿真平台的一个故障诊断客户端, 当服务器发来起飞爬升阶段的状态数据时, 就可以实时地检测出飞机是否发生了故障、故障的类型和故障度. 根据这 3 个参数, 设置报警模块, 及时提醒飞行员飞机的起飞情况是否良好, 以

便飞行员快速正确地作出反应,选择操纵修复故障或者返航.在实时仿真程序中设置时间标志,用来证明故障诊断模块可以在 0.5 s 内作出诊断结果,并实现报警(项目要求在 1 s 之内).故障类型诊断正确率达 100%,故障度诊断正确率达 95%,完全符合项目的要求.

4 结 语

歼击机的起飞爬升阶段,容易发生事故,且数据量大,对故障诊断要求精度高,实时性好,本文提出一种粗集和神经网络相结合的方法,解决这一问题.对离散过程和简约过程都提出了适宜的算法,从而使得方法适合起飞爬升阶段的故障诊断.实时的程序仿真证明可以达到精度和实时性要求.设置报警模块及时给飞行员以警示,使得飞行员可以迅速作出反应,防止事故的发生.

参考文献 (References)

- [1] Pawlak Z. Rough sets [J]. *International Journal of Computer and Information Science*, 1982, 11(5): 341 - 356.
- [2] Roemerand M J, Kacprzyński G J. Advanced diagnostics and prognostics for gas turbine engine risk assessment [A]. In: *Proceedings of IEEE Aerospace Conference* [C]. Big Sky, MT, United States, 2000. 345 - 353.
- [3] Tsumoto, Shusaku. Extracting diagnostic taxonomy using rough sets [A]. In: *Proc of IEEE Aerospace Conference* [C]. Washington, DC, United States, 2003. 2696 - 2701.
- [4] Nguyen S H, Nguyen H S. Some efficient algorithms for rough set methods [A]. *Proc of the Conference of Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems* [C]. Granada, Spain, 1996. 1451 - 1456.
- [5] Vinterbo S, øhrn A. Minimal approximate hitting sets and rule templates [J]. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2000, 25(2): 123 - 143.

基于神经网络动态逆的歼击机自适应跟踪控制

孙国强, 胡寿松

(南京航空航天大学自动化学院, 南京, 210016)

摘要: 基于神经网络动态逆方法, 给出了一种非线性模型参考自适应跟踪控制方案。应用神经网络直接对非线性系统求逆方法解决了逆系统方法的两个“瓶颈”问题, 并且克服了传统的控制设计中将过程模型线性化, 从而将不可忽视的非线性关系用线性关系代替或者忽略的弊端。对由于建模误差、不确定因素等引起的非线性系统逆误差, 通过自组织模糊小脑模型关节控制器(Self-organizing fuzzy cerebellar model articulation controller, SOFCMAC)神经网络在线进行修正。SOFCMAC神经网络扩大了寻优空间, 使其能更好地重构系统逆误差, 最终实现准确的鲁棒自适应跟踪控制。通过将这种方法用于某型歼击机姿态系统控制的仿真研究, 表明了本文方法的有效性和可行性。

关键词: 动态逆; 神经网络; 自组织模糊小脑模型关节控制器

中图分类号: TP277

文献标识码: A

文章编号: 1005-2615(2004)04-0516-04

Neural Network Dynamic Inversion Control Based on Self-Organizing Fuzzy CMAC Neural Network

SUN Guo-qiang, HU Shou-song

(College of Automation Engineering,

Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: A plan of model reference adaptive tracking control for nonlinear systems is introduced based on neural network dynamic inversion (NNDI). Two “choke point” problems of the dynamic inversion method are solved by using neural network to get dynamic inversion model of nonlinear systems. The abuse of neglecting nonlinear relationship that can't be neglected or replacing it with linear relationship is overcome in designing model linearization by traditional control method. Self-organizing fuzzy cerebellar model articulation controller (SOFCMAC) neural network is used to regulate the error in the plant inversion due to modeling uncertainties and disturbances. SOFCMAC neural network enlarges the space of searching the optimum and make the inversion error of reconfiguration better. The exact robust adaptive tracking control is got at last. The application of the method in Attitude Command Attitude Hold (AC-AH) of fighter is studied by the simulation. Results show that the method is effective and practicable.

Key words: dynamic inversion; neural network; self-organizing fuzzy cerebellar model articulation controller

非线性动态逆方法主要用于消除系统的非线性因素以及实现多变量系统的解耦控制, 由此在飞行控制中得到广泛应用^[1]。然而, 动态逆方法要求

有精确的模型解析式和逆系统的显式表示。而飞机的动力学特性具有很强的耦合性和非线性, 且难以用解析式描述。将神经网络对未知非线性系统的逼

基金项目: 国家自然科学基金(60234010)资助项目; 航空科学基金(02E52025)资助项目。

收稿日期: 2003-08-28; 修订日期: 2003-12-26

作者简介: 孙国强, 男, 硕士研究生, 1974年6月生, E-mail: sun_guoqiang@163.com; 胡寿松, 男, 教授, 博士生导师, 1937年2月生。

近能力等特点与逆系统理论有机结合,借助于神经网络实现逆系统,是近年兴起的飞行控制技术^[2]。A. J. Calise 提出了一种基于Lyapunov 分析的直接自适应控制方案,自适应的实现是通过一个用于补偿逆误差的在线神经网络来完成的。这种方案于1998年首次在X-36先进无尾战斗验证机上进行验证,结果表明此方案具有良好的实时性和稳定性^[3]。但该方案是一种基于线性化对象逆模型的控制方案,由于解的实际约束条件的限制和实时控制的要求,实现起来比较困难。

本文采用神经网络直接对歼击机非线性模型求逆,解决了传统逆系统方法的“瓶颈”问题,并且克服了传统的控制设计中将过程模型线性化,从而将不可忽视的非线性关系用线性关系代替或者忽略的弊端。

1 系统控制方案

考虑如下非线性系统

$$\ddot{x} = f(x, \dot{x}, u) \quad (1)$$

式中: $x \in R^n$; $u \in R^m$; x 为系统状态; u 为被控对象输入指令。系统控制方案如图1所示。

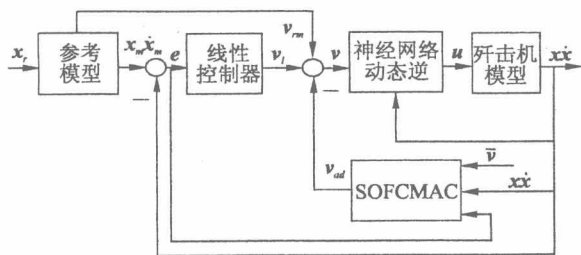


图1 歼击机非线性模型参考自适应跟踪控制系统结构

该方案中的动态逆由神经网络来实现并与原系统复合成伪线性系统;参考模型和线性控制器按期望的系统性能进行设计;自组织模糊小脑模型关节控制器(Self-organizing fuzzy cerebellar model articulation controller, SOFCMAC)神经网络用来补偿逆误差。控制的目标是设计控制律 u 使得闭环系统稳定,且状态 x 跟踪参考模型状态 x_m 。

1.1 基于神经网络的 α 阶动态逆控制器设计

用神经网络实现动态逆的基本思想是:通过训练神经网络,得到逼近被控对象逆动力学特性的神经网络控制器。如果式(1)可逆且可观测,则可以把它写成如下形式

$$\ddot{x} = v \quad (2)$$

即

$$v = f(x, \dot{x}, u) \quad (3)$$

式中, $v \in R^n$ 为伪控制变量。伪控制信号由3部分组成

$$v = v_{rm} + v_l - v_{ad} \quad (4)$$

式中: $v_{rm} = \ddot{x}_m$ 由参考模型产生; v_l 为线性控制器输出; v_{ad} 为SOFCMAC神经网络输出。式(3)的逆可用如下形式来表示

$$u = f^{-1}(x, \dot{x}, v) \quad (5)$$

用神经网络实现动态逆就是通过对网络进行训练,使其输入输出关系逼近式(5),从而得到系统的近似动态逆。如果 $f(x, \dot{x}, u)$ 的动态逆不存在,可以适当修改 $f(x, \dot{x}, u)$ 为 $\bar{f}(x, \dot{x}, u)$ 以保证近似动态逆控制律的存在,由此而引入的逆误差由SOFCMAC神经网络补偿。

歼击机姿态控制系统中存在3个互相耦合的子系统,所以需要3个神经网络来分别建立3个子系统的 α 阶积分逆系统。本文采用目前应用最为广泛的反向传播神经网络。它是采用Back propagation学习算法的多层前向网络,只要网络的层数和每层的节点数合适,它可以任意精度逼近任意的有理非线性连续函数^[4]。为了提高逼近精度,可以通过增加网络层数或隐层神经元数目的方法,但同时也使网络复杂化,因此要综合考虑误差精度和训练时间来选择网络层数及隐含层神经元数目。BP算法为有导师学习,本文采用姿态系统的输出和输入作为神经网络的输入/输出样本集,对BP网络进行离线训练,得到的网络权值封装在逆控制器中在线进行使用。

1.2 伪线性系统的综合

辨识好的神经网络动态逆直接与原非线性系统串联起来,就构成一伪线性系统。因此,对原来非线性系统的控制问题已转化为对该线性系统的控制问题。直接逆控制器因为不存在反馈,有可能出现很多问题,如模型的不精确会造成稳态误差,而其他不确定因素会造成系统的抖动,系统可能不稳定。因此,应用自适应控制原理对系统进行必要的综合,设计参考模型和线性控制器对伪线性系统进行跟踪控制^[5]。

按照期望的系统性能,参考模型为

$$\ddot{x}_m = f_{rm}(x_m, \dot{x}_m, x_r, \dot{x}_r) \quad (6)$$

式中 $x_m, x_r \in R^n$, 分别为参考模型状态和指令输入。

状态跟踪误差 e 为

$$e = [(x_m - x)^T, (\dot{x}_m - \dot{x})^T]^T \quad (7)$$