

浙江理工大学

硕士学位论文开题报告

题目：基于自适应模糊 Petri 网的无人机自主防碰撞系统研究

学 院： 信息学院

学科专业： 软件工程

研究方向: 软件工程技术

姓 名: 唐文兵

指导教师: 丁佐华

学 号: 201720603002

入学年月： 2017 年 9 月

选题来源: _____

报告日期 2018 年 11 月 14 日

1 学位论文研究的目的、意义

随着无人机在军事和民用领域的广泛使用,多无人机协同技术的出现,特别是无人机编队飞行,以及高层建筑越来越多这都导致在同一空域出现无人机与无人机、无人机与其他飞行器的碰撞可能性急剧增加^{[1][13][14]}。在有限的空域资源下,开发高效的无人机自主防碰撞系统,对提高无人机系统的安全性、可靠性,加强与其他无人机的协作能力和提高空域使用效率都有着重要的意义。

因此,本文聚焦于开发一个无人机自主防碰撞系统。该系统应当具有自主感知、自主决策能力,能在对无人机周围的环境进行感知,能够预测到可能会发生的碰撞,并自主地解决(消解)碰撞。

考虑到无人机飞行过程中存在诸多的不确定性,如天气(风速、风向)的不确定性^[15]、机载传感器(超声波、雷达)的不精确^[16]、控制系统的局限性、其他飞行器意图的不确定性^{[15][1]}。以及控制对象的高度非线性,同时对控制系统有着严苛的要求。针对这样的问题,很难用经典的控制理论和精确的数学模型去处理。

为了处理不确定环境下的无人机自主防碰撞问题,本文考虑使用自适应模糊 Petri 网(Adaptive Fuzzy Petri Net, AFPN)来设计控制器。AFPN 将模糊逻辑的处理不确定性的能力和 Petri 网的图形化建模能力结合起来,并融入了自适应(学习)功能。但是,现有的研究主要集中在对 AFPN 的规则表达和参数的确定上,对于动态实时环境下如何确定 AFPN 的结构仍然没有理论指导。

2 目前国内外的研究现状

从 20 世纪 90 年代开始,就有人开始开发早期相对简单的碰撞预测系统^[13]。截止目前,主要的方法有^{[1][2][3][17]}:几何模型、优化模型、速度避障模型、模型预测控制方法、智能控制方法。

几何模型是一种常用的碰撞检测和避免方法,如 Park 等^[18]通过计算两个无人机之间的最接近距离(Point of Closest Approach),使用几何方法来处理两个恒定速度无人机的飞行碰撞问题。Carbone 等^[19]提出一种双机非协作(Non-Cooperative)场景下基于几何模型的防碰撞方法。然而,几何模型一般只能处理两架无人机这样的小规模问题^{[20][21]},当无人机数量增加时问题的求解将会变地复杂。几何模型中有一类重要的方法——人工势场(Artificial Potential Field, APF)^[22]法,该方法将障碍物的分布情况等信息反映在每一点的虚拟势场值当中,根据势场值的大小决定无人机的飞行方向和速度。APF 方法自提出以来,已被广泛地用于移动机器人^{[24][22][23]}、无人机^{[24][4]}的避障、路径规划。然而,传统的 APF 无

法适应复杂环境而陷入局部停滞状态、路径不够平滑、不能充分利用机间通信等不足,于是出现了诸多对 APF 改进的算法,如长安大学朱旭等^[5]利用一致性理论中通信拓扑和通信权重的概念,提出了改进的机间人工势场函数,以处理无人机编队防碰撞问题。

优化模型是将无人机的防碰撞问题看作一个优化问题,优化方法通常将运动学模型与一组成本度量指标相结合,试图以最低的成本找到一条最优的无障碍路径,通常选择的成本有可续航时间等。2017 年 Cafieri 等^[25]使用混合整数非线性规划最大限度地解决飞行冲突,并确定最大的一组无冲突飞机数。空军工程大学李大东等^[7]将最短时间表述与防撞约束相结合的混合整数线性规划方法应用于轨迹最优化中,解决复杂障碍约束问题。

速度障碍法最早由 Fiorini 和 Shiller^[26]于 1998 年提出,是最简单的动态避障方法之一^[29]。荷兰代尔夫特理工大学 Jenie 等人对速度自主避障模型进行了系统地研究,文献^{[27][28]}在速度障碍法的基础上,提出一种用于解决多 UAV 之间避碰的选择速度障碍法。并研究了针对多机协作^[27]、非协作^[29]、制导无人机等场景下避碰的选择速度障碍方法。

模型预测控制在解决操作和被控变量高维、控制指标经常变化等问题时具有明显的优势。模型预测控制通过将给定的成本函数在未来某一预测范围内最小化来计算最优动作。周欢等^[1]应用扩展卡尔曼滤波预测不确定性环境空间的障碍物和目标轨迹,无人机通过机间通信实现环境信息共享,基于模型预测控制方法进行多无人机协同防碰撞制导决策。Richards 等^[30]将分布式模型预测控制用在协同无人机的控制上。

智能控制方法主要指一类无须人为干预,基于知识规则和学习推理的能独立驱动智能机器实现其目标的闭环自动控制技术。针对无人机自主防碰撞问题,由于存在着不确定性、被控系统很难用精确的数学模型描述、高度非线性、复杂的任务要求等特点,智能控制技术被广泛地应用于该领域,其中应用较多的有模糊控制^[31]、神经网络控制^[32]、自适应控制^[33]等。

模糊逻辑为不确定性知识表示、推理提供了一条途径。神经网络具有学习能力与自适应能力。Petri 网是一种图形化和数学化的建模工具。模糊 Petri 网(Fuzzy Petri Nets, FPNs)是对经典 Petri 网的改进,以处理不确定性信息。FPNs 具有结构化组织知识的能力,能可视化地推理。因此,FPNs 被广泛应用于各类故障诊断(如电力系统^[34]、管线等)、交通系统、工业工程控制、决策支持系统。

在 FPNs 中, 参数指 Places 和 Transitions 之间的连接权值。早期的 FPNs 中参数都是固定的, 如 Yeung 等人^[35]的工作。后来, Li 等^{[36][37]}提出了参数可以动态变化的自适应模糊 Petri 网(Adaptive Fuzzy Petri Net, AFPN), 以表示动态知识。后来研究者使用各种方法对 AFPN 的参数进行辨识, 如神经网络、粒子群优化、遗传算法等。

当前对 AFPN 的研究主要集中在如何确定参数上, 对于结构的辨识是一个需要研究的问题。

3 学位论文研究的主要内容

本学位论文主要考虑使用 AFPN 构建一个实时的无人机自主防碰撞系统。鉴于经典的 AFPN 不能适应规则的动态地增加或删除, 所以本论文计划对 AFPN 进行改进, 以具有动态结构, 真正具有“自适应”能力。针对改进后的 AFPN 提出相应的参数学习算法, 如果每一次结构调整完就进行一次参数学习, 那很难满足实时性的要求, 所以要采用“更高级”的思路去进行系统参数辨识。

本学位论文的主要内容如下:

第一章 绪论。主要介绍无人机自主防碰撞系统研究的目的及意义。分析国内外研究现状。

第二章 基础知识介绍。介绍研究工作中可能需要用到的技术和算法: 模糊逻辑, Petri 网, 模糊 Petri 网, 自适应模糊 Petri 网, 动态模糊神经网络, 增量学习等。

第三章 结构可变的自适应模糊 Petri 网。提出一种结构可以变化的自适应模糊 Petri 网模型, 以处理不确定环境下, 规则数量动态变化的实时智能系统的控制问题。

第四章 结构可变的自适应模糊 Petri 网参数学习算法。针对上一章提出的模型, 提出相对应的参数学习算法。

第五章 实验与分析。对建立的模型进行理论和实际的实验检测。根据要求的性能, 分别设计相对应的实验。

第六章 总结与展望。总结自己的研究成果, 提出可行的进一步研究方向和相关内容。

4 学位论文研究的方案及可行性分析 (包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明)

考虑到无人机自主防碰撞系统中存在各种不确定,而模糊逻辑为不确定性知识表示、推理提供了一条途径。模糊 Petri 网将模糊逻辑与 Petri 网结合起来,为处理不确定性知识提供了一个新的途径。模糊 Petri 自提出以来就受到了广泛地关注,已被用于无人车和无人机系统的任务规划(分配)^{[38][39][8]}、避障^[40]和故障诊断^{[41][9]}等方面,但是这些应用的与无人机自主防系统这样的存在不确定性的动态系统是不一样的。

智能系统的需求是实时的,能够处理因意料之外的不确定性所引起的新的需求。即系统的控制策略能够随着外部“环境”的改变能够用实现自适应。虽然 Li^{[36][37]}等已经提出了具有“学习”能力的 AFPN。由于获取系统控制规则的统一有效的方法,因此要找到一组合适的规则是很难的。在模糊神经网络中,一个不合理的网络结构会严重影响神经网络的泛化能力^[10]。在模糊 Petri 网中也面临这样的问题,只对参数的调整不能适应动态系统的控制要求,应该开发具有结构自适应能力的 AFPN。

本文考虑对 AFPN 进行改进,提出一种具有结构自适应能力的模糊 Petri 网模型。该模型应当像动态模糊神经网络(Dynamic Fuzzy Neural Networks, DFNN)、ART(Adaptive Resonance Theory,自适应谐振理论)神经网络^[43]或级联相关神经网络(Cascade-Correlation Neural Networks, CCNN)那样能实现结构自适应。

当前针对模糊控制系统结构自适应的研究,主要集中在对模糊神经网络的结构自适应。主要方法是对模糊神经网络隐含层的节点进行动态地增加和删除。如 Wu 等提出的 DFNN^[42]和 Qiu 等提出的结构可变的模糊神经网络(Variable Structure Fuzzy Neural Network)^[45]。

4.1 AFPN 结构自适应方案

结构自适应模糊 Petri 网应该能根据系统运行状态,自主地产生新的规则或者删除已有的规则,这里的规则指加权模糊产生式规则(Weighted Fuzzy Production Rule, WFPR),通过动态地调整模糊产生式规则库,并把规则库映射到模糊 Petri 网,进而实现模糊 Petri 网的结构自适应。

下面介绍拟采用的规则产生(增加)准则和规则剪枝(删除)准则。

(1) 规则增减准则

系统误差是衡量一个系统泛化能力的主要指标。显然如果规则数太少,则模糊 Petri 网不能完全包含整个状态空间。如果规则数太多,可能会导致模

模糊 Petri 网陷入过拟合(Overfitting)。因此, 系统误差是确定是否增加新规则的重要依据。当系统误差超过某一阈值时, 则考虑增加一条新的规则。

(2) 规则剪枝准则

a) 灵敏度

通过检测各连接权对全局目标函数的敏感度, 从而消去敏感度低的连接权。

b) 最小权值

当连接权小于某个阈值时, 考虑删除该连接权。

c) 权减法

该方法在目标函数中加入惩罚项, 来实现剪枝。

d) 影响因子

通过计算某个 Translation 对输出的影响, 当影响因子小于某个阈值时, 考虑删除该节点。

图 4.1 给出了动态增加一条规则后的模糊 petri 网模型。

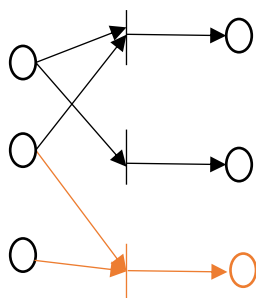


图 4.1 增加一条规则

4.2 结构自适应 AFPN 学习算法

图 4.2 给出了 DFNN 的学习过程, 每进行一次网络结构更新, 都要重新对参数进行一次学习。但是对于实时控制系统, 如果采用类似于 DFNN 的学习过程^[10], 很难满足实时性的要求。文献^[45]中的学习算法也面临这个问题。

增量学习(Incremental Learning)^[46]是指一个学习系统能不断地从新样本中学习新的知识, 并能保存大部分以前已经学习到的知识。南京大学申富饶等^[47]提出的自组织增量学习神经网络(Self-Organizing Incremental Neural Network, SOINN), SOINN 的增量性使得它能够发现数据流中出现的新模式并进行学习, 同时不影响之前学习的结果。

借鉴这种思想,拟采用将增量学习用在结构自适应 AFPN 的学习过程中,使得改进后的 AFPN 不仅能够实现结构和参数的动态调整,而且能够满足实时性的要求。

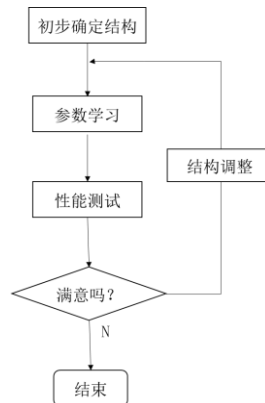


图 4.2 动态确定模糊神经网络结构

4.3 对不确定性的处理

引入模糊逻辑就是为了处理不确定数据,如传感器数据的不确定性。但是,在无人机自主防碰撞系统中,其他飞行器的意图,以及考虑到无人机飞行过程中惯性的影响。所以不仅考虑当前的状态,还需要考虑上一个时刻执行了什么动作。即让控制器具有短暂的“记忆”功能。

循环神经网络(Recurrent Neural Network, RNN)是机器学习中应用广泛的一个模型,它的隐藏层具有记忆功能,能够按时间顺序将前后影响因素综合起来分析。正是基于 RNN 模型的时间序列自适应学习能力,其已被用于工业机器人故障可跟踪预测^[11]。

借鉴 RNN 的思想,拟开发具有记忆能力的 AFPN,综合历史状况对现在的影响并处理相关的不确定性,为无人机的自主防碰撞决策提供全面支撑。

5 创新点、重点、难点和关键问题

5.1 创新点

本文使用 AFPN 处理不确定环境下的无人机自主防碰撞问题,主要创新点如下:

- (1) 将 AFPN 用于处理无人机自主防碰撞问题,以处理不确定性。与模糊神经网络相比模糊 petri 具有图像化的知识表达能力。
- (2) 考虑传统 AFPN 中存在的结构不确定性,并针对实时控制系统,提出相应的规则增减、删除策略,以实现 AFPN 结构自适应。

- (3) 考虑到无人机自主防碰撞系统对实时性的苛刻需求,考虑将增量学习的思想引入结构自适应的 AFPN 中。
- (4) 为了处理其他飞行器意图不确定性,借鉴 RNN 的思想,拟开发一种具有“记忆”能力的结构自适应 AFPN 控制模型。

5.2 重点和关键问题

本文的重点和关键点在于:

其一,本文的重点是使用 AFPN 实现不确定环境下的无人机自主防碰撞,一个关键问题就是如何实现 AFPN 结构的动态更新,即随着规则的更新,AFPN 的结构能实现自适应。

其二,针对这样安全攸关的控制系统,要满足实时性^[48]、鲁棒性的需求,所以实时是本文始终关注的重点,包括 AFPN 参数的学习和 AFPN 结构的调整过程,都需要考虑时间成本。

其三,是对不确定性的处理,无人机自主防碰撞系统可能存在诸多的不确定性,如何快速高效地处理这些不确定性是本文的关键。

此外,得到了控制模型之后,怎样测试模型的性能,因为无人机的实际测试可能有一定的风险,所以设计合理的仿真实验也是本文的重点之一。

5.3 难点

本文的难点主要有如下:

虽然当前对模糊神经网络已经有了相对应的结构自适应模型——DFNN,但是对于模糊 Petri 网模型的结构如何确定还没有理论指导。本文尝试着去实现模糊 Petri 网模型的结构自适应,但是模糊 Petri 网与模糊神经网络毕竟在结构上、表示方式上存在不同,所以不能直接使用模糊神经网络的结构自适应方法到模糊 Petri 网中。

另外一个难点就是如何处理各种不确定性,虽然本文也考虑了一些不确定性,但是无人机在飞行的过程中可能会遇到一些突发情况,这种不确定性如何处理是本文的一个难点。

多无人机协同能够完成单个无人机无法完成的任务,能提高无人机系统的可靠性和抗干扰能力,多无人机之间可能会存在通信,这时候如何实现实时分布式控制是一个难点。不能因为无人机数量太多,而导致规则过多产生“维数灾难”问题。

理论与实践之间存在差距，需要把理论模型付诸在实践中，通过实验来验证模型的效率，并且保证实验安全，也是一个难点。

6 学位论文研究的工作条件

- (1) 参考资料：国内外研究文献；
- (2) 飞行平台：大疆 M100 无人机；
- (3) 计算设备：笔记本电脑；
- (4) 软件及工具：Python、Matlab 等。

7 学位论文研究的进度计划安排

起讫日期	研究内容
2018. 9. 1--2018. 11. 31	确定主体研究方向，掌握相关理论知识
2018. 12. 1--2019. 4. 30	完成模型的建立，确定参数辨识方法
2019. 5. 1--2019. 8. 31	设计实验实现方案，完成相关实验
2019. 9. 1--2019. 9. 30	分析实验结果，评估模型性能
2019. 10. 1--预答辩	整理参考文献，撰写毕业论文

8 参考文献

- [1] 周欢, 魏瑞轩, 崔军辉,等. 面向不确定性环境的多无人机协同防碰撞[J]. 电光与控制, 2014, 21(1):91-96.
- [2] 魏瑞轩, 许卓凡, 张启瑞,等. 无人机自主防碰撞控制技术新进展[J]. 科技导报, 2017, 35(7):64-68.
- [3] 刘慧颖, 白存儒, 杨广珺. 无人机自主防撞关键技术与应用分析[J]. 航空工程进展, 2014, 5(2):141-147.
- [4] 金远先, 李文光, 谢文苗. 基于人工势场法的无人机编队控制[C]// IEEE GNCC. 2014:463-467.
- [5] 朱旭, 闫茂德, 张昌利,等. 基于改进人工势场的无人机编队防碰撞控制方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2017, 38(6):961-968.
- [6] 周绍磊, 祁亚辉, 张文广,等. 考虑内部避碰的无人机编队控制研究[J]. 战术导弹技术, 2016(6):94-98.
- [7] 李大东, 孙秀霞, 孙彪,等. 基于混合整数线性规划的无人机任务规划[J]. 飞

- 行力学, 2010, 28(5):88-91.
- [8] 谭雁英, 童明, 张艳宁,等. 基于加权模糊 Petri 网的无人机自主任务推理决策研究[J]. 西北工业大学学报, 2016, 34(6):951-956.
- [9] 袁浩川, 叶霖. 基于模糊 petri 网的无人机动力装置故障诊断研究[C]// 管理科学与工程学会 2016 年年会. 2016.
- [10] 伍世虔, 徐军. 动态模糊神经网络[M]. 清华大学出版社, 2008.
- [11] 李丹婷. 基于 RNN 模型的工业机器人故障可跟踪预测方法[J]. 计算机与网络, 2018(2).
- [12] Albaker B M, Rahim N A. Unmanned aircraft collision detection and resolution: Concept and survey[C]// IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. IEEE, 2010:248-253.
- [13] Kuchar J K, Yang L C. A review of conflict detection and resolution modeling methods[J]. Intelligent Transportation Systems IEEE Transactions on, 2000, 1(4):179-189.
- [14] Albaker B M, Rahim N A. A survey of collision avoidance approaches for unmanned aerial vehicles[C]// Technical Postgraduates. IEEE, 2010:1-7.
- [15] Jilkov, Vesselin P.; LEDET, Jeffrey H.; LI, X. Rong. Multiple model method for aircraft conflict detection and resolution in intent and weather uncertainty. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2018.
- [16] Alejo, David, et al. An efficient method for multi-UAV conflict detection and resolution under uncertainties. In: Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference. Springer, Cham, 2016. p. 635-647.
- [17] Albaker, B. M., & Rahim, N. A. (2011). A conceptual framework and a review of conflict sensing, detection, awareness and escape maneuvering methods for UAVs. In Aeronautics and Astronautics. InTech.
- [18] Park J W, Oh H D, Tahk M J. UAV collision avoidance based on geometric approach[C]// Sice Conference. IEEE, 2008:2122-2126.
- [19] Carbone, C., et al. A novel 3D geometric algorithm for aircraft autonomous collision avoidance. In: Decision and Control, 2006 45th IEEE Conference on. IEEE, 2006. p. 1580-1585.
- [20] Geser A, Munoz C. A geometric approach to strategic conflict detection and resolution [ATC][C]// Digital Avionics Systems Conference, 2002. Proceedings.

- the. IEEE, 2002:6B1-1-6B1-11 vol.1.
- [21]Goss, Jennifer; Rajvanshi, Rahul; Subbarao, Kamesh. Aircraft conflict detection and resolution using mixed geometric and collision cone approaches. In: AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit. 2004. p. 4879.
- [22]Khatib O. Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots[J]. International Journal of Robotics Research, 1986, 5(1):90-98.
- [23]Park M G, Jeon J H, Lee M C. Obstacle avoidance for mobile robots using artificial potential field approach with simulated annealing[C]//Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on. IEEE, 2001, 3: 1530-1535.
- [24]Chen Y, Luo G, Mei Y, et al. UAV path planning using artificial potential field method updated by optimal control theory[J]. International Journal of Systems Science, 2016, 47(6): 1407-1420.
- [25]Cafieri S, Rey D. Maximizing the number of conflict-free aircraft using mixed-integer nonlinear programming[J]. Computers & Operations Research, 2017, 80:147-158.
- [26]Fiorini P, Shiller Z. Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles[J]. The International Journal of Robotics Research, 1998, 17(7): 760-772.
- [27]Jenie Y I, Kampen E J V, Remes B. Cooperative Autonomous Collision Avoidance System for Unmanned Aerial Vehicle[J]. 2013:387-405.
- [28]Jenie Y I, Kampen E J V, Visser C C D, et al. Selective Velocity Obstacle Method for Deconflicting Maneuvers Applied to Unmanned Aerial Vehicles[J]. Journal of Guidance Control & Dynamics, 2015, 38(6):1-6.
- [29]Jenie Y I, Van Kampen E J, de Visser C C, et al. Velocity obstacle method for non-cooperative autonomous collision avoidance system for UAVs[C]//AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. 2014: 1472.
- [30]Richards A, How J P. Decentralized Model Predictive Control of Cooperating UAVs [J]. 2004, 4(4):4286 - 4291 Vol.4.
- [31]Fu C, Olivares-Mendez M A, Suarez-Fernandez R, et al. Monocular Visual-Inertial SLAM-Based Collision Avoidance Strategy for Fail-Safe UAV Using Fuzzy Logic Controllers[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2014, 73(1-4):513-533.

- [32]Chen M Q. Flight Conflict Detection and Resolution Based on Neural Network[C]// International Conference on Computational and Information Sciences. IEEE, 2011:860-862.
- [33]Salt L, Howard D. Self-Adaptive Differential Evolution for Bio-Inspired Neuromorphic Collision Avoidance[J]. 2017.
- [34]Zhang Y, Zhang Y, Wen F, et al. A fuzzy Petri net based approach for fault diagnosis in power systems considering temporal constraints[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016, 78(6):215-224.
- [35]Yeung D S, Ysang E C C. A multilevel weighted fuzzy reasoning algorithm for expert systems[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics - Part A Systems and Humans, 1998, 28(2):149-158.
- [36]Li X, Lara-Rosano F. Adaptive fuzzy petri nets for dynamic knowledge representation and inference[J]. Expert Systems with Applications, 2000, 19(3):235-241.
- [37]Li X, Yu W, Lara-Rosano F. Dynamic knowledge inference and learning under adaptive fuzzy Petri net framework[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Part C, 2000, 30(4):442-450.
- [38]Lundell M, Tang J, Nygard K. Fuzzy petri net for UAV decision making[C]// International Conference on Collaborative Technologies and Systems. IEEE Computer Society, 2005:347-352.
- [39]Zhao Z, Zhou R, Chi P. UAV Intelligent Decision Method Based on Fuzzy Reasoning Petri Net[J]. Ordnance Industry Automation, 2015.
- [40]Baldoni P D, Yang Y, Kim S Y. Development of Efficient Obstacle Avoidance for a Mobile Robot Using Fuzzy Petri Nets[C]//Information Reuse and Integration (IRI), 2016 IEEE 17th International Conference on. IEEE, 2016: 265-269.
- [41]Liu J. Knowledge representation and reasoning for flight control system based on weighted fuzzy Petri nets[C]// International Conference on Computer Science and Education. IEEE, 2010:528-534.
- [42]Wu S, Er M J. Dynamic fuzzy neural networks-a novel approach to function approximation[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 2000, 30(2): 358-364.

-
- [43]Carpenter G A, Grossberg S. The ART of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network[J]. Computer, 1988, 21(3): 77-88.
- [44]Fahlman S E, Lebiere C. The cascade-correlation learning architecture[C]//Advances in neural information processing systems. 1990: 524-532.
- [45]Huanyao Q. The reserch of variable structure fuzzy neural network control system[C]//Online Analysis and Computing Science (ICOACS), IEEE International Conference of. IEEE, 2016: 273-276.
- [46]Schlimmer J C, Granger R H. Incremental Learning from Noisy Data.[J]. Machine Learning, 1986, 1(3):317-354.
- [47]Furao S , Ogura T , Hasegawa O . An enhanced self-organizing incremental neural network for online unsupervised learning[J]. Neural Networks the Official Journal of the International Neural Network Society, 2007, 20(8):893-903.
- [48]Zhou Y, HU HS L. A real-time and fully distributed approach to motion planning for multirobot systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2017.

开题报告审查意见

导 师 意 见	<div style="text-align: right;">签名： 年 月 日</div>
开 题 报 告 评 议 组 讨 论 意 见	<p>(选题指导思想、创新性、难易程度，研究内容、方法，可行性及修改建议。 是否通过开题报告)</p> <div style="text-align: right;">主持人签名： 年 月 日</div>

开题报告评议小组名单

姓名	工作单位	部门/学院	职称