舰载飞机进舰降落信号员模型建模

石 明 崔海亮 屈香菊

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 舰载机在航母上降落面临着极其复杂的环境,末端进舰阶段需要降落信号员(LSO)的信号指引,在舰载机的人机系统仿真模型中,需要包括 LSO 的模型. 分析了舰载机进舰飞行过程中 LSO 的作用和行为特征. 针对 LSO 对飞行距离、航迹偏差判断和指令决策的行为特征,采用模糊逻辑建立了相应的行为模型. 针对 LSO 对舰船运动预测的行为特征,利用神经网络建立其行为模型,对几种典型进舰情况进行仿真,验证 LSO 模型的合理性.

关 键 词: 降落信号员; 建模; 神经网络; 模糊控制; 舰载飞机; 进舰

中图分类号: V 212.1

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)02-0135-04

Modeling landing signal officer for carrier approach

Shi Ming Cui Hailiang Qu Xiangju

(School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The landing environment of carrier-based aircraft is extremely complex. The pilot needs to get the secondary command signal from landing signal officer(LSO) for final carrier approach and landing. It is necessary to include the LSO command model in the simulation model of carrier landing approach for human pilot control. On the basis of analyzing the behaviors of the LSO in the final carrier approach, a model of LSO was presented for the digital simulation of a pilot-carrier system. Fuzzy logic laws were used to model three kinds of the behaviors of the LSO: the judgment of the distance between the aircraft and the ship, the judgment of the path deviation and the decision of the command signal sent to the pilot. A neural network model was applied to describe the LSO's prediction of the ship motion. The rationality of the model was verified through the simulation results of carrier landing under several kinds of conditions.

Key words: landing signal officer; modeling; neural network; fuzzy control; carrier-based aircraft; approach

舰载机的进舰环境十分复杂,为保证舰载机进舰的安全有效,航空母舰上需要降落信号员(LSO,Landing Signal Officer)辅助驾驶员完成进舰任务. 文献[1]中讨论了 LSO 的作用,对 LSO 辅助驾驶员进舰控制做了描述;文献[2]建立了舰载直升机 LSO 模型;文献[3]模拟了 LSO 对飞机航迹的预测功能. 上述文献都只对 LSO 的部分行为进行了描述和仿真,完整的 LSO 模型还包括距离和飞行偏差的判断、航迹修正功能、复飞判断和甲板运动的补偿等功能. 本文较全面地分析了 LSO 的行为特性,利用模糊控制和神经网络预测方法,实现上述 LSO 功能,对实际进舰过程中可能出现的 LSO 指令进行仿真,验证本文所建立模型的合理性.

1 LSO 任务和指令形成特点描述

LSO 的主要任务是:在进舰过程前段(进入下滑道开始到着舰前 3 s)观察并辅助驾驶员修正飞机航迹,若航迹在允许范围内不发出修正指令,

收稿日期: 2004-12-28

基金项目: 航空科学基金资助项目(02A51045)

作者简介: 石 明(1979-),男,黑龙江牡丹江人,硕士生, shiming.79@163.com.

超出允许范围发出修正指令. 在进舰过程后段(最后3 s)判断飞机是否能够正常着舰或者复飞,如果正常着舰,LSO要预测着舰时甲板的运动情况,给出一个补偿指令,帮助驾驶员实现精确着舰;如果LSO判断复飞,则向驾驶员发出复飞指令. 因此,在舰载飞机进舰模型中应该将LSO加到"人-机"系统中,构成"LSO-驾驶员-飞机"完整的系统,其中三者之间的关系如图1所示. 根据参考文献[1~4]所描述的LSO工作方式,可以将LSO任务分为纵向和横向.

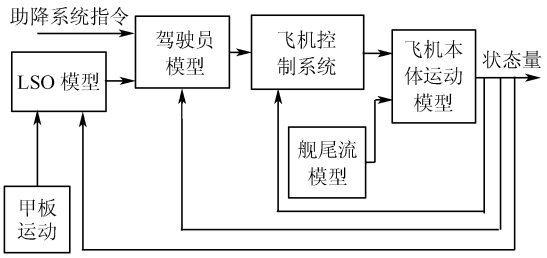


图1 LSO-驾驶员-飞机系统图

LSO指令形成特性包括:

1) LSO作为人,行为具有非线性特性.

2) LSO对航迹偏差的判断和所发出的指令具有模糊性. 如LSO通常发出"飞机航线稍微偏左"或"飞机航线很偏左"等指令.

3) LSO具有学习能力,可以通过训练实现对飞机和甲板运动的预测.

综合上述特点,本文选用模糊控制和神经网络模型进行LSO的建模. 模糊控制可以实现LSO的模糊判断,神经网络模型则可以实现LSO对飞机和甲板运动预测的学习特性.

2 LSO模型的建立

LSO的纵向和横侧模型的建模方法类同,作为示例,本文以横向LSO建模为例.

2.1 修正指令模块

LSO判断飞机离舰距离,并根据该距离下飞机中心偏差大小的规定,判断是否向驾驶员发出航迹修正指令及指令大小,而判断和指令带有模糊性. 所以,该模块包括距离判断和偏差指令,采用模糊控制方法进行设计.

文献[1]中列出进舰过程中的几个关键位置:下滑道入口、1/2距离、1/4距离和1/8距离,分别对应模糊语言中的很远、远、较远和近,LSO在这几个点附近判断航迹偏差的大小. 直观上,距离越远,LSO的分辨能力越差,所以设计LSO距离判断的隶属度函数如图2所示,当飞机处于不同的下滑段时,偏差判断模型的参数不同. 模糊判断语言采用七标度分类法,分别为正很大(PVB)、正大(PB)、正小(PL)、中(M)、负小(NL)、负大(NB)和负很大(NVB).

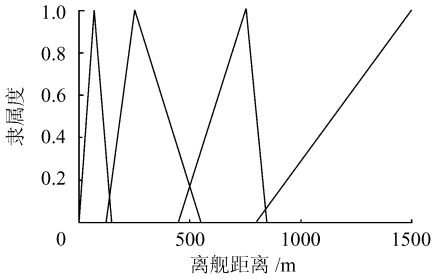


图2 LSO对飞机离舰距离的隶属度函数

LSO对很远处偏差大小的判断和指令的模糊函数如图3所示. 其它距离下偏差模糊函数曲线与之相似. 本文所设计的LSO模糊控制模型的语言控制规则如表1所示.

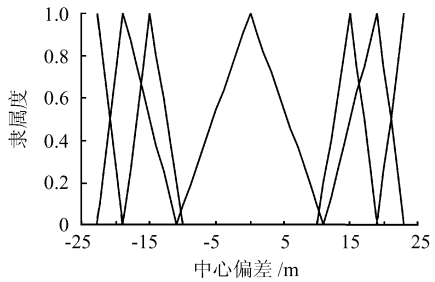


图3 很远处大小偏差判断函数

表1 LSO航迹修正模糊控制模型规则

判断	正很大	正大	正小	中	负小	负大	负很大
指令	负很大	负大	负小	中	正小	正大	正很大

2.2 复飞和补偿指令模块

该模块包括两个部分,分别为复飞判断模块和甲板运动补偿模块.

1) 复飞判断模块

当剩余着舰时间为3 s时,LSO进行复飞判断. 该模块中输入为着舰前3 s偏差,输出复飞判断. LSO对复飞点航迹偏移判断和指令输出的模糊隶属度函数如图4所示;LSO模糊控制模型的语言描述和控制规则见表2.

表2 LSO复飞模糊控制模型的语言规则

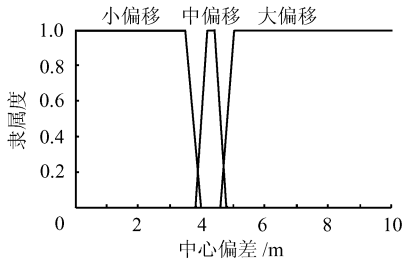
偏差	小偏移	中等偏移	大偏移
指令	不复飞	可能复飞	肯定复飞

2) 甲板补偿模块

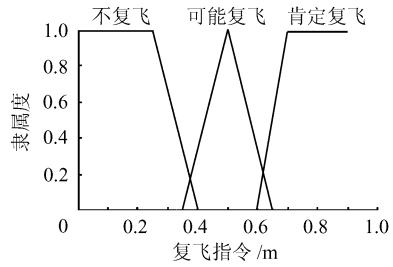
着舰前3 s,当LSO判断飞机正常着舰时,综合航迹偏差和甲板3 s后的运动造成航迹偏差,给出飞机航迹调整指令.

在补偿模块设计中,要重点考虑两个问题:

① LSO对甲板运动的预测模型建立



a　航迹偏差判断



b　指令输出函数

图 4　横侧 LSO 对复飞点航迹偏差判断和指令输出的模糊隶属度函数

使用 BP 神经网络建立甲板运动的预测模型,设计的 BP 网络包括输入层,隐含层和输出层.

输入层有 10 个节点,对应的输入量为 10 个,选取依据是:间隔 1 s 选取 9 个值,输入量的时间跨度为 9 s,约等于甲板一个振荡运动的周期;根据振荡主频率,在主频的一个周期内,用 9 值采样,可以比较好地勾画出振荡运动的形式.

使用神经网络模型得到的预测数据结果与数值仿真的甲板运动数据源比较如图 5 所示. 由仿真结果可见,LSO 预测值并不能完全等同于甲板实际运动值,但是预测的总体趋势保持一致,反映 LSO 预测甲板运动时只能是大概估计的情况.

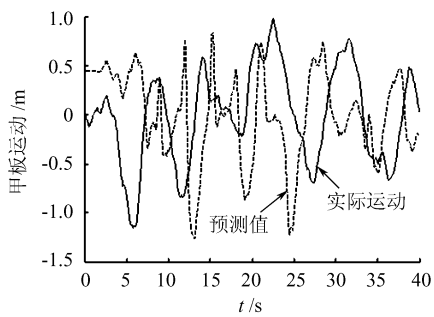


图 5　LSO 甲板预测与数值仿真曲线比较

② 对飞机响应特性的考虑

对本文所采用的算例飞机,做一个调整航迹偏差为 3 m 的仿真实验. 由于存在驾驶员延迟并且航迹变化为慢变化量,飞机从 0.6 s 后开始出现变化,在第 3 s 结束时航迹变化只有 0.7 m. 因此,要在最后的 3 s 内将飞机航迹偏差修正到理想偏差内,驾驶员必须以调整更大的航迹指令来进行操作. 比例关系为 3/0.7 = 4.3,因此航迹调整偏差放大系数 $\lambda = 4.3$. 如果最后 LSO 判断的补偿信息为 3 m 偏差,实际发出的修正指令应该为 $\lambda_1 = 3\ \mathrm{m} \times \lambda = 12.9\ \mathrm{m}$,才能实现飞机在 3 s 后着舰时修正3 m偏差.

2.3　3 s 切换模块

该模块模拟 LSO 对着舰前 3 s 的判断,输入为飞机速度和离舰距离. 飞机进舰过程中保持一定的速度,LSO 根据对距离的判断来做出剩余时间的估计.

2.4　LSO 指令延迟部分

体现 LSO 的判断和指令发出存在的时间延迟. 大小与驾驶员反应时间延迟相当,取 0.2 s.

3　仿真验证

根据 LSO 的行为特征,分别仿真 LSO 的甲板运动补偿作用、LSO 航迹修正作用和 LSO 复飞判断作用,其中驾驶员模型使用文献[5]所建立的模型.

1) 交叉点前不出现大偏差,符合进舰要求,LSO 提供甲板运动补偿指令. 设交叉点处中心偏差为零,则 LSO 仅对着舰时舰船运动偏差进行补偿. 有/无甲板运动补偿控制下的着舰中心偏差仿真结果如图 6 所示,可见驾驶员通过执行 LSO 的补偿指令有效的减小了着舰的中心偏差.

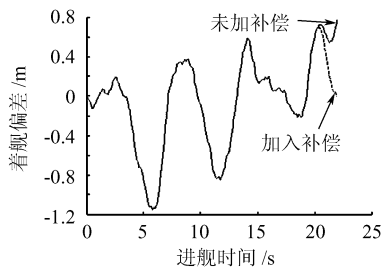
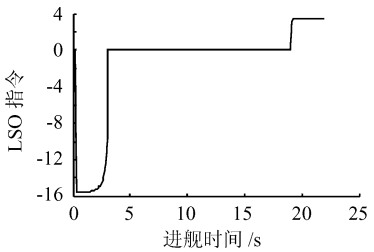


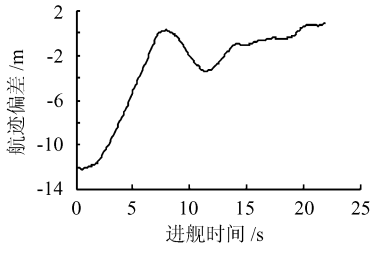
图 6　有/无甲板补偿着舰中心偏差

2) 交叉点前飞机出现较大偏差时的状况. 下滑道入口处出现 12 m 初始偏差仿真结果如图 7 所示. 由图中可见, LSO 根据判断形成偏差指令,提醒驾驶员修正;3 s 后,中心偏差修正到 9 m 之内,LSO 认为是小偏差,由驾驶员自主修正,直到进舰结束.

3) 交叉点处出现大偏差,LSO 发出复飞指令. 仿真结果如图 8 所示. 在进舰过程 16 ~ 18.5 s 驾驶员操纵失误导致交叉点附近出现 5 m 左右的中心偏差如图 8a 所示;LSO 判断飞机应进行复

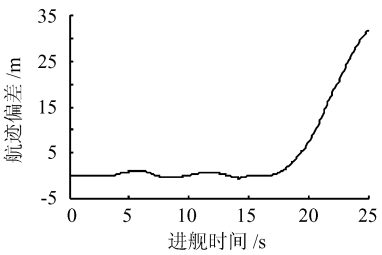


a LSO 指令

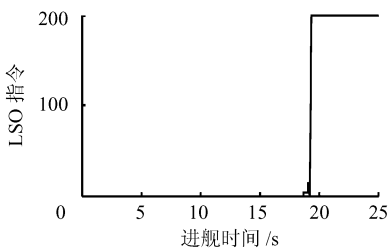


b 中心偏差变化

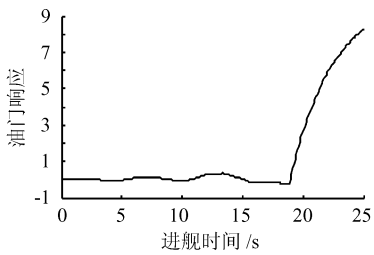
图 7 初始大偏差下 LSO 指令和中心偏差



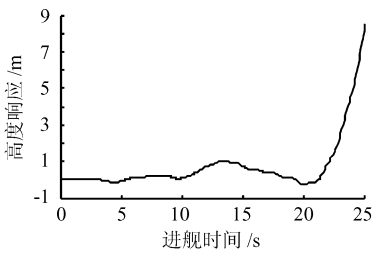
a 中心偏差变化



b LSO 指令



c 油门变化



d 高度变化

图 8 复飞状况下仿真结果

飞,发出复飞指令,该指令在数值仿真中用数字“200”代替如图 8b. 油门为相对中心位置的变化,如图 8c 所示. 驾驶员接收到 LSO 复飞指令后,操纵油门将飞机推力增至最大,实现飞机拉起复飞如图 8d 所示.

以上三种仿真情况完整地体现了 LSO 辅助驾驶员操纵飞机的作用,由仿真结果可见,本文所建立横侧 LSO 模型很好地实现了甲板运动补偿功能、大航迹偏移修正功能和复飞功能,表明建立的模型能够合理地描述 LSO 的行为.

4 结 束 语

根据舰载机在人工控制下,进舰过程中 LSO 与驾驶员的协同方式,分析了 LSO 行为特征. 在此基础上,利用模糊判断结合神经网络预测模型,以横侧运动控制作为示例,建立了 LSO 的判断和指令模型,说明了模型构建过程中需要考虑的问题和解决方法. 通过对不同进舰情况的仿真验证,表明了 LSO 模型的合理性. 所建立的模型对舰载飞机人工控制进舰过程的仿真有实用价值,提出的建模方法对自动着舰控制系统的研究有理论意义.

参考文献 (**References**)

[1] Richards R, Chrenka J, Thordsen M. Artificial intelligence technique for pilot approach decision aid logic (PADAL) System [R]. ADA388045, 2001

[2] Gregg S C. A constructive landing signals officer for conducting pilot training in a Sea King helicopter deck landing simulator[J]. Masters Abstracts International, 2002,40-06:1545

[3] Robert A, Richards. Application of multiple artificial intelligence techniques for an aircraft carrier landing decision support tool [A]. In:Proceeding of the 2002 IEEE International Conference on[C], 2002,1(12-17):7~11

[4] Steinberg Marc L. A comparison of neural, fuzzy, evolutionary and adaptive approaches for carrier landing[A]. In: AIAA: Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit[C]. Montreal, 2001.6~9

[5] 屈香菊, 崔海亮. 舰载机进舰任务中的驾驶员变策略控制模型[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29(11): 993~997
Qu Xiangju, Cui Hailiang. A variable strategy pilot model of carrier landing approach[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics ans Aatronautics, 2003,29(11):993~997(in Chinese)