

船舶避碰

海上安全研究



吴兆麟 著



大连海事大学出版社

© 吴兆麟 2006

图书在版编目(CIP)数据

船舶避碰与海上安全研究/吴兆麟著. —大连: 大连海事大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-5632-1974-9

I. 船… II. 吴… III. ①船舶航行-避碰-文集②海上运输-交通运输安全-文集 IV. U675.96-53②U698-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 078030 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮政编码 116026 电话 0411-84728394 传真 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

鞍山市创意印务有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2006 年 7 月第 1 版

2006 年 7 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 140 mm × 203 mm 印张: 16

字数: 400 千 印数: 0001~1200 册

责任编辑: 史洪源 版式设计: 海韵

封面设计: 王艳 责任校对: 枫叶

定价: 40.00 元

内容提要

本书共汇集学术论文 53 篇,反映了本书作者近五年来在海上船舶碰撞危险与避碰决策模型、大风浪中船舶安全航行与绕避热带气旋、海上事故统计分析与事故中的人的因素、海上安全定量分析和海上交通安全监督管理等领域的学术进展与研究成果,对开展航海科学技术领域的科学研究与海上安全监督管理工作具有一定的学术参考价值 and 实际指导意义。

前 言

2001年6月本人曾汇集1983年至2001年在国内外学术刊物和学术会议上发表的69篇论文,由大连海事大学出版社出版了《海上避碰与交通安全研究》一书,作为学术交流和探讨及高等航海院校教师与研究生的教学参考资料,受到了国内航海学术界与海上安全监督管理系统的业务同行,特别是高等航海院校教师与研究生的欢迎和好评。近五年来,本人在主持科技项目研究、指导博士生和硕士生做学位论文研究以及从事自选研究中,独自及与我指导的研究生合作在国内外学术刊物和学术会议上又发表一批学术论文。现从中选择53篇汇集成书并根据其研究内容确定书名,为《船舶避碰与海上安全研究》,为继续与国内同行们进行学术交流和探讨,再请大连海事大学出版社正式出版。

本书分为五部分。第一部分为碰撞危险与避碰决策模型,收录15篇论文,大都是在主持国家自然科学基金资助项目“船舶自动避碰决策系统模型的研究”过程中与课题组成员合作撰写的,还收录了出版《海上避碰与交通安全研究》一书时漏录的4篇论文。这些论文主要是研究判定船舶碰撞危险、形成避碰决策、确定避碰行动的数学建模问题,为实现船舶避碰自动化再做一些努力。第二部分为大风浪中船舶航行安全,收录10篇论文,主要是在主持教育部博士学位点基金资助项目“恶劣天气条件下船舶开航安全性评估方法”研究过程中与课题组成员合作撰写的。申报这一题目的动因是因发生“11·24”特大海难而感到震惊,而选择这一题目进行研究是试图寻求安全对策。第三部分为海上事故与人的因素,收录12篇论文,多数是指导博士生做学位论文研究过程中合作撰写的。研究国际海事组织和各海运国家关注的这一热点问题,是试图探讨人的因素在事故发生中起负面作用的统计规律性,为减少人为失误提供参考依据。第四部分为海上交通安全定量分

析,收录8篇论文,是与本人指导几位博士生和硕士生结合几个科研课题做学位论文研究过程中合作撰写的,以促进海上交通安全的定性管理朝着定性管理与定量管理相结合的方向发展。第五部分为海上交通安全管理研究,收录8篇论文,是本人针对在海事系统做学术报告和学术讲座的主题进行研究所撰写的,主要是对海事管理所涉及的安全、法律和管理问题的探讨。

《中华人民共和国高等教育法》规定,高等学校以培养人才为中心,开展教学、科学研究和社会服务活动。因此,从事科学研究就成为大学教授尤其是研究生导师义不容辞的一项本职工作,而让攻读博士学位和硕士学位的研究生依托导师主持的科研项目做学位论文研究是指导培养好研究生的一个有效途径。五年来,本人在主持上述科研项目研究和指导十几位研究生的过程中,与各课题组的研究人员及依托这些课题做学位论文研究的博士生和硕士生一起共同努力,较为顺利地完成了各项课题研究,并以学术论文形式公开发表了研究成果,一批研究生也如期获得了博士学位和硕士学位。回顾近五年来研究和撰写上述学术论文的经历,本人深切感觉到从事科学研究是辛苦的,需要付出很大的努力,但在完成每一项科研任务和发表每一篇学术论文之后又能感到一份欣慰和乐趣。汇集这些论文而公开出版本书也是五年来我们研究工作的汇报。

长期以来本人一直致力于航海科技创新和学术进取,虽然取得了一些成绩或进展,但是与时代的要求和社会的需求差距甚远。本书所反映的一些研究成果,正像本人五年前在《海上避碰与交通安全研究》一书前言中所说的那样,依旧是一块块“引玉的砖”,若其中存在不当与谬误之处,盼望同行们指正。

吴兆麟

2006年6月

目 录

一 碰撞危险与避碰决策模型

船舶碰撞危险的模糊决策	(3)
用神经网络评价船舶碰撞危险的研究	(11)
船舶碰撞危险综合评价系统的比较研究	(19)
船舶空间碰撞危险度的概念及其模型	(28)
多船会遇碰撞危险的灰色动态评价模型	(35)
船舶碰撞危险度的新模型	(44)
多船会遇碰撞危险的模糊识别评价方法	(55)
船舶避碰行动领域模型的研究	(63)
船舶智能避碰决策与控制系统研究综述	(71)
目标船运动参数及 d_{CPA} 、 t_{CPA} 决策模型	(79)
船舶变速避让行动与时机的确定	(88)
船舶智能避碰决策与控制系统总体结构	(93)
船舶转向避让碰撞距离模型的确定	(99)
最小安全会遇距离决策模型	(105)
多层次多目标重点避让船模糊优选模型	(112)
参考文献	(121)

二 大风浪中船舶航行安全

大风浪中船舶安全航行的研究综述	(129)
船舶耐波性与船舶航速	(136)
随浪航行中的船舶危险性分析	(143)
大风浪中船舶安全性评估方法综述	(151)

大风浪中航行船舶风险体系分析·····	(161)
恶劣天气条件下船舶开航安全性评估方法·····	(168)
船舶绕避热带气旋技术方法述评·····	(177)
气象—经济决策理论在大风浪中船舶航线的选优应用·····	(186)
大风浪中航行船舶的危险度估算模型·····	(194)
效用理论与船舶绕避热带气旋方案的选择·····	(204)
参考文献·····	(213)

三 海上事故与人的因素

船舶避碰过程中人的可靠性分析·····	(221)
Identifying the human factors in ship collisions based on the investigation by questionnaires ·····	(231)
海难事故原因分析与预防对策·····	(241)
大风浪海损事故的灰色关联分析·····	(248)
基于船舶碰撞事故调查报告的人的因素数据挖掘·····	(256)
减少人为失误的对策·····	(270)
模拟器在船舶避碰人的因素研究中的应用·····	(278)
船舶碰撞事故中人为失误的灰色识别·····	(286)
Statistics and analysis of maritime accidents in Chinese navigable waters ·····	(296)
基于灰色马尔可夫模型的水上交通事故预测·····	(309)
港口交通事故与其环境要素关系研究·····	(318)
台湾海峡及附近水域海难事故的灰色关联分析·····	(328)
参考文献·····	(339)

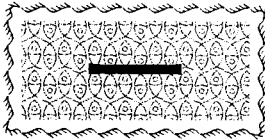
四 海上交通安全定量分析

ISM 规则国内化 ·····	(349)
船舶安全检查处理决策的定量评价·····	(358)

海上交通系统安全定量评价方法·····	(366)
受限航道中船舶的限速·····	(373)
Relation between the number of observational days and the accuracy on the estimation of marine traffic volume ·····	(383)
船舶操纵性综合评价方法的研究·····	(393)
安全管理体系运行有效性的评价·····	(402)
船舶在港口水域安全航行的影响因素之评估·····	(411)
参考文献·····	(417)

五 海上交通安全管理研究

安全船舶的新概念·····	(423)
《中华人民共和国行政许可法》对现行海船船员适任考试 制度的挑战·····	(430)
论海事立法的规范化·····	(439)
科学的水上交通安全观之探讨·····	(448)
论事故当事人责任和事故法律责任的区别·····	(458)
论海事机构船员管理工作的改进·····	(470)
建设海上广东 构建和谐海事·····	(480)
水上交通安全观念创新之探讨·····	(492)
参考文献·····	(501)



碰撞危险与避碰决策模型

船舶碰撞危险的模糊决策*

摘要:作者分析了船舶避碰的决策过程及已有的决策模型,提出了船舶碰撞危险的模糊决策方法。结果表明,模型是合理的,可用于建立船舶避碰决策系统的基础。

关键词:船舶碰撞;模糊决策;模型;船舶避碰

0 引言

20年来,船舶交通密度发生了相当大的变化,新型船舶的出现,使海上交通更加复杂。这些变化使船舶密集水域的船舶操纵更加困难。同时,船员的数量也在减少,驾驶室内设备增多,加重了操船者的负担。近期一些重大海事的发生表明,人为失误仍是船舶发生海事的主导因素。为了减少海损事故的发生,提高航行安全水平,满足自动化船舶驾驶的要求,研究开发各种先进的操纵支持系统成为非常重要而迫切的课题。在船舶操纵支持系统的研究中,船舶避碰支持系统的研究是关键问题。很多研究人员在这方面做了大量深入细致的工作:Goodwin^[1]、Davis^[2]、Colley^[3]分别提出了船舶领域、动界及 RDRR 模型;James^[4]以模糊逻辑为基础,提出了避碰操纵的决策模型;Koyama^[5]将专家系统应用于船舶避碰操纵;Hasegawa^[6]将 Koyama 的专家系统与 Hasegawa 的碰撞推理方法结合起来,开发了船舶自动驾驶模糊专家系统

* 本文发表在《大连水产学院学报》1998年第2期,作者姚杰,吴兆麟,方祥麟。

(SAFES);Hara^[7]用模糊逻辑来定义主观碰撞危险度,根据此危险度来决定操船措施;孙凯、方祥麟用模糊集合与神经网络来推算船舶碰撞危险度。这些工作大大地推动了智能船舶的研究。作者在分析总结前人工作的基础上,给出了用模糊逻辑来推算船舶碰撞危险度的方法。

1 模糊 IF-THEN 规则与模糊推理系统

1.1 模糊 IF-THEN 规则

模糊 IF-THEN 规则是一个模糊算法,是人们实践经验的总结。这些经验总结可以由不同类型的模糊条件语句组成,表达形式为 IF A THEN B,即若 A 则 B。其中 A、B 为模糊集合,例如,若压力高,则体积小。

1.2 模糊推理系统

模糊推理系统由五个模块组成:

- (1)推理规则模块,包括一定数量的 IF-THEN 规则;
- (2)数据库,由模糊规则中模糊集合的隶属函数组成;
- (3)推理机制,根据推理规则完成推理功能;
- (4)模糊化,将数值输入转换为相应的模糊语言变量值;
- (5)定量化,将模糊推理得到的模糊值转换成精确值。

1.3 模糊推理方法

模糊推理方法的推理步骤如下:

- (1)输入值与推理规则的条件部分的隶属函数比较得到模糊语言变量的值(即将精确值模糊化);
- (2)用特定的运算符将规则各条的条件部分得到的值进行综合运算;
- (3)生成结论部分的模糊值;
- (4)将得到的模糊值定量化(非模糊化)。

2 碰撞危险度的模糊推算方法

2.1 Hasegawa 方法

Hasegawa^[6]利用模糊逻辑根据目标的 DCPA(会遇最近距离)与 TCPA(会遇最近时间)来推算碰撞危险指数(CRI)。其具体做法是:推理系统的输入为 DCPA 与 TCPA,DCPA 用模糊变量“正小”、“正中小”、“正中”、“正中大”、“正大”来表示;TCPA 用模糊变量“负大”、“负中”、“负小”、“正小”、“正小中”、“正中”、“正中大”、“正大”来表示;DCPA、TCPA 的隶属函数用三角形和梯形表示;碰撞危险指数 CRI 用纯量小数 $-0.2, -0.6, -1.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 表示。

2.2 Hara 方法

Hara^[7]利用模糊逻辑定义了“主观碰撞危险值 SJ”,该值由目标的距离与目标的相对方位变化率决定,其表达式为

$$SJ_{ij} = a_{ij} + b_{ij}R + c_{ij}Q \quad (1)$$

式中: $R' = R/L$ 为目标的相对距离的无因次值, R 为距离, L 为船长; Q 为目标方位变化率的无因次值; a_{ij} 、 b_{ij} 、 c_{ij} 为系数。

Hara 将相对距离用模糊变量“远”、“中等”、“近”来表示;方位相对变化率用“大”、“中”、“小”来表示;隶属函数用三角形或梯形表示。Hara 用 $-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ 来表示操船人员在给定会遇局面下的主观感觉“非常危险”、“危险”、“轻微危险”、“既不危险也不安全”、“轻微安全”、“安全”、“非常安全”等。

2.3 孙凯提出的综合评判方法

孙凯、方祥麟利用 DCPA 与 TCPA 作为输入,利用模糊综合评判方法对目标的碰撞危险度做出推断。具体做法是:设 DCPA 和 TCPA 的变化域分别为 U_d 和 U_t ,对应 U_d 、 U_t 上同一模糊概念“碰撞危险性”各用模糊集 A_d 、 A_t 来表示,根据统计分析,给出对应 A_d 、 A_t 的隶属函数:

对 DCPA

$$\mu_{A_d}(\text{DCPA}) = \begin{cases} 1 & \text{DCPA} < d_1 \\ \frac{1}{2} - \frac{\sin[\frac{\pi}{d_2 - d_1} \times \frac{\text{DCPA}(d_1 + d_2)}{2}]}{2} & d_1 < \text{DCPA} \leq d_2 \\ 0 & d_2 < \text{DCPA} \end{cases} \quad (2)$$

对 TCPA

$$\mu_{A_t}(\text{TCPA}) = \begin{cases} \frac{t_2 - \text{TCPA}}{t_2 - t_1} & t_1 < \text{TCPA} \leq t_2 \\ 0 & t_2 < \text{TCPA} \end{cases} \quad (3)$$

式中:

$$t_1 = \begin{cases} \frac{\sqrt{\text{DLA}^2 - \text{DCPA}^2}}{V_r} & \text{DCPA} \leq \text{DLA} \\ 0 & \text{DCPA} > \text{DLA} \end{cases}$$

$$t_2 = \begin{cases} \frac{\sqrt{S^2 - \text{DCPA}^2}}{V_r} & \text{DCPA} \leq S \\ 0 & \text{DCPA} > S \end{cases}$$

V_r 为相对速度; $d_1 = \text{DLA}$ 为本船采取避让行动的最小距离; $d_2 = S$ 为船舶动界。综合碰撞危险度定义如下:

$$\mu_A(\text{DCPA}, \text{TCPA}) = \mu_{A_d}(\text{DCPA}) \oplus \mu_{A_t}(\text{TCPA}) \quad (4)$$

式中: $a \oplus b = \min(\frac{a+b}{2}, 1)$ 。

从式(4)可以看出,其实际输入是 DCPA、TCPA 与相对速度。分析以上三种方法,作者认为第一种方法考虑 TCPA 的负值太多,这样势必增加推理规则的数量,从而加大了计算量。TCPA 负值考虑太多似乎无太大的实际意义,虽应当考虑,但应该减少。Hara 方法由于没有 a_{ij} 、 b_{ij} 、 c_{ij} 的系数值,如何得到可靠的各系数值并予以应用,还需进一步验证。第三种方法忽略了当 TCPA 为负值时的情况,这在具体计算时势必会出现问题。另外,在计算综合

碰撞危险度时,从其算法可以看出 DCPA 与 TCPA 对综合危险的贡献似乎相同,这与实际不符。事实上操船人员在判断碰撞危险时,主要考虑的是 DCPA,而 TCPA 属次要因素。再者,第三种方法实际上又增加了相对速度以及船舶领域的因素。基于以上考虑,笔者提出如下推理方法。

3 用模糊逻辑推算碰撞危险

3.1 推断碰撞危险应考虑的因素

从专家学者对驾驶员海上避碰行为的统计研究以及决策过程的研究可以看出,对碰撞危险的判断大致考虑的主要因素有 DCPA、TCPA、相对速度、距离、方位、方位变化率、距离变化率等。作者认为用 DCPA、TCPA 可以反映出其他的要素。分析如下,如图 1 所示。

$$DCPA = D_2 \sin(\angle 1 + \angle 2) \quad (5)$$

$$TCPA = D_2 \cos(\angle 1 + \angle 2) / V_r \quad (6)$$

式中: D_2 为目标的距离; $\angle 2$ 为目标的方位变化率。

因为 DCPA 反映了距离、方位及其变化率,同样 TCPA 也反映了距离、方位变化率及相对速度,所以作者认为 DCPA 与 TCPA 两个因素可以全面反映与目标的会遇形势,用此二因素作为输入可以推断碰撞危险。

3.2 DCPA 与 TCPA 以及危险度的隶属函数

根据 Goodwin、Habberbleg^[8]、赵劲松^[9]等人对海上避碰行为的研究,参照国际海上避碰规则,按通航密度大的水域(航道或港口)、沿岸水域以及开阔水域,将 DCPA 用模糊变量“小(DS)”、“中小(DMS)”、“中(DM)”、“中大(DMB)”、“大(DB)”来表示, TCPA 用“很短(TVS)”、“中短(TMS)”、“中(TM)”、“中长(TML)”、“长

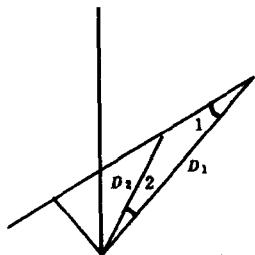


图 1 计算原理图

(TL)”来表示。具体隶属函数如图 2 所示(开阔水域与沿岸水域隶属函数略)。

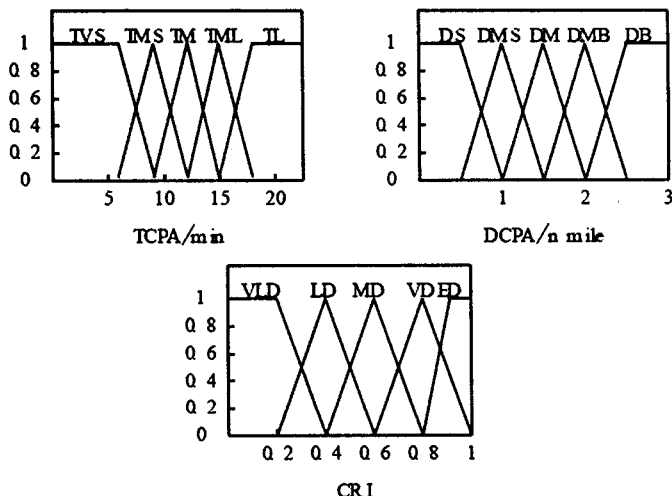


图 2 TCPA、DCPA、CRI 隶属函数图

危险度用模糊变量“危险很小(VLD)”、“危险较小(LD)”、“危险中等(MD)”、“危险较大(VD)”、“危险极大(ED)”来表示。

3.3 推理规则

推理规则见表 1, 三维图(3D)如图 3 所示。考虑 TCPA 为负值时碰撞危险很小, 因此增加 1 条, 如 TCPA 小于零, 则碰撞危险很小。

表 1 推理规则表

		最近会遇距离(DCPA)				
		DS	DMS	DM	DMB	DB
TCPA	TVS	ED	VD	MD	LD	VLD
	TMS	VD	MD	LD	VLD	VLD
	TM	MD	LD	VLD	VLD	VLD
	TML	LD	VLD	VLD	VLD	VLD
	TL	VLD	VLD	VLD	VLD	DLD

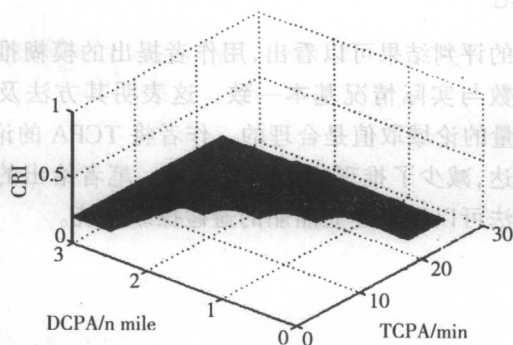


图3 推理规则三维图

4 实例

设本船航向 60° , 航速 14 kn, 在周围有 6 个目标船, 其参数见表 2。

根据本船参数及目标船参数, 用作者给出的推理算法得到各目标船的碰撞危险指数, 见表 2。

表2 目标参数及其碰撞危险指数

目标	航向/ $^\circ$	航速/kn	舷角/ $^\circ$	距离/ n mile	DCPA/ n mile	TCPA/min	CRI
1	125	16	025(左)	3.75	2.33	10.87	0.20
2	150	15	060(左)	3.5	0.79	9.97	0.62
3	225	16	005(右)	5.0	1.12	9.83	0.50
4	320	15	035(左)	3.0	0.35	8.04	0.86
5	020	18	120(右)	2.0	1.03	8.88	0.60
6	133	13	010(右)	3.25	2.12	9.20	0.20