

大连海运学院

学术论文集



庆祝中国高等航海教育暨
大连海运学院校庆八十周年

大连海运学院

学术论文集

庆祝中国高等航海教育暨
大连海运学院校庆八十周年



目 次

船舶领域分析

.....赵劲松 王逢辰 (1)

时间序列分析方法在OMEGA船位误差分析中的应用

.....毕修影 李浑成 (9)

柴油机工作过程变工况优化计算

.....郑克钊 王庆家 (13)

集中控制室隔声、吸声设计

.....孙在义 赵士卿 (17)

LMQ—II 雷达运动目标模拟器

.....刘玉民 董晓兵 (24)

船舶高压电力系统电压选择及配电方式

.....刘宗德 (29)

渗流对平壁对流换热的影响

.....刘惠枝 舒宏纪 (34)

高压静电场中凝华结霜的强化相变传热

.....孟繁炯 马鸿斌 岳丹亭 潘延龄 (38)

包含气体分子输运效应的连续方程

.....刘 超 (45)

制冷装置排气“废热”利用的研究

.....汪妙强 (49)

主从结构的微机系统

.....李志华 (55)

无源滤波器的计算机辅助设计

.....王大寿 (60)

微机局域网络的性能测试与分析

.....邢月华 (68)

大型复杂信息系统开发方法论的讨论提纲

.....高复先 (74)

96系列单片机学习 开发 应用系统的硬件研制

.....冯 惠 张忠选 (79)

电路的超节点系统分析法	薛继汉 (85)
海洋气象信息传输系统	庞福文 (90)
电离层扰动时的短波通信	王祝和 鲍宏志 胡连 (95)
水泥管缠丝机液压控制系统	刘连山 (101)
杭州钢厂高炉加料电液伺服系统的调试	王兆鹏 (106)
始不分明拓扑与终不分明拓扑的新定义	靳正大 (111)
Fuzzy逻辑公式中的可消性问题	徐扬 邹开其 (114)
论转换提单	司玉琢 张永坚 (121)
论海事优先权的识别	李海 (126)
“泉水”轮碰撞案涉及的法律问题	朱清 (131)
加拿大的海事调查体制	袁林新 (138)
船舶交通管理系统的若干问题	吴兆麟 王逢辰 (142)
VTMS的全面技术管理	刘人杰 (147)
超龄船舶管理问题的探索	雷海 (151)
海运企业技术经济指标的分析与计算	师德超 (154)
超导电力与超导电磁力船舶推进系统	张雅文 (160)
上海港船舶机舱油污水的接收和处理	卢霖生 (165)
DCM作业船在水工事业中的作用	

.....	李望东 (168)
谈谈常规的助航标志	
.....	李志洪 (171)
中日水稻之路的航海学辨析	
.....	孙光圻 (173)
新航路开辟与七下西洋的关系	
.....	吴长春 (176)
论企业升级及其咨询特征	
.....	余伟涛 陈海泉 (179)
商品经济条件下按劳分配的几个问题	
.....	孙建粹 (183)
二介子——二中微子理论与坂田模型成因浅析	
.....	徐玉华 (189)
外在形式之我见	
.....	房玉珍 (193)
诗海泛舟	
.....	刘镇干 (198)
简论写作语言及其风格	
.....	张 平 (203)
图书馆的学术研究	
.....	汪育才 (208)
理解与表达——翻译的两大难关	
.....	安 新 (212)

船舶领域分析

赵劲松 王逢辰

(航海系操纵避碰教研室)

〔提要〕 本文首先分析了藤井、Goodwin 和 Coldwell 所提出的船舶领域概念的相同点和不同点,然后以 Goodwin 的船舶领域模型为主,分析了船舶领域理论存在的问题,并提出了船舶领域边界模糊性的概念。

船舶碰撞从几何学上讲就是会遇船舶的距离为零。为了防止碰撞事故的发生,确保船舶安全有效地航行,船舶之间就要保持一定的安全距离。这一安全距离在避碰规则中是“宽”的概念,在海上交通工程中就是船舶领域半径。

船舶领域的概念最早是由日本的藤井弥平等人提出的,他们建立了日本水域的船舶领域模式。进而 Goodwin 确立了船舶领域的存在,修改了船舶领域的概念,并建立了开阔水域的船舶领域模式。后来 Coldwell 从事发展船舶领域在限制水域(如港口航道和显著航道)的应用研究。目前,船舶领域已广泛应用于船舶避碰、航道设计、危险度评估、航道疏浚的确定、港口锚地的设计及海上交通水域中离岸设施的建立等项研究中。尽管船舶领域理论已得到世界的公认,许多专家学者都致力于船舶领域理论和应用的研究,但自船舶领域理论诞生到现在,未见有人就其存在的问题进行分析。此外,在我国目前还未见到有关船舶领域理论研究的报道。正是由于这些原因,加上船舶领域在船舶避碰和海上交通工程研究中所具有的特殊地位,我们拟在这方面的研究上做一点工作。本文着重分析船舶领域理论中存在的问题,至于如何解决这些问题,将另文探讨。

1 几种船舶领域概念的异同

藤井、Goodwin 和 Coldwell 各自从不同角度给船舶领域下了定义,并进行了研究。藤井给船舶领域下的定义为“绝大多数后续船舶驾驶员避免进入的前一艘在航船舶周围的领域”。领域边界的大小被定义为密度达到局部最大值时距中心船的距离(如图1所示),领域模型是椭圆形的(如图2所示)。Goodwin 将船舶领域定义为“一船驾驶员将其他船舶和固定物体保持在外的围绕该船的有效水域”。领域边界的大小定义为图3中的 x'_A , 这样 $x < x'_A$ 内的船舶总数小于没有船舶领域时的船舶数, $x = x'_A$ 时的情况第一次等于交通密度均匀的情况。船舶领域边界按照船舶的舷灯和尾灯被分成三个区域(如图4所示)。Coldwell 给船舶领域下的定义为“典型驾驶员考虑到其他船舶的存在所实际保持的围绕该船周围的有效水域”。领域边界尺度定义为距中心船达到局部最大值的距离点,即图3中的 x_B 。Coldwell 所提出的对遇情况下的船舶模型如图5所示。

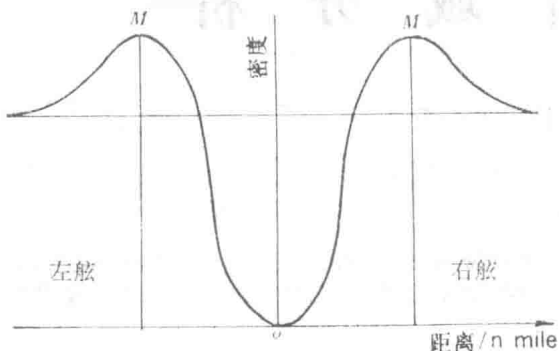


图1 水道中船舶领域边界的确定

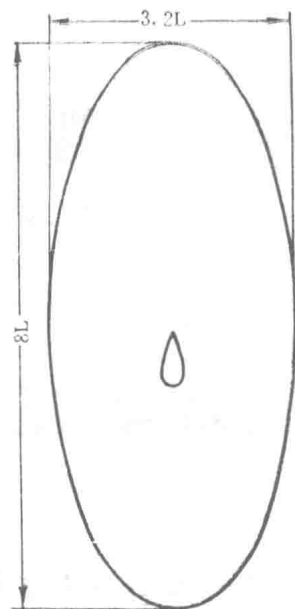


图2 日本沿海水道中船舶领域模型

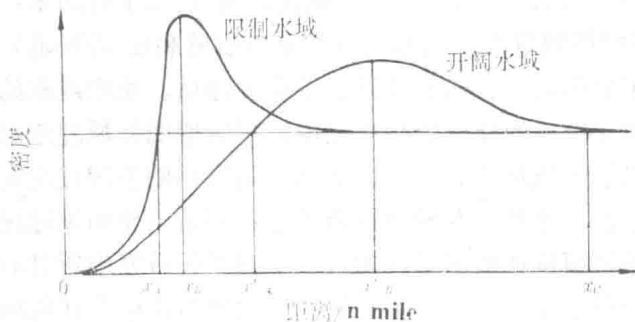


图3 中心船周围的船舶分布

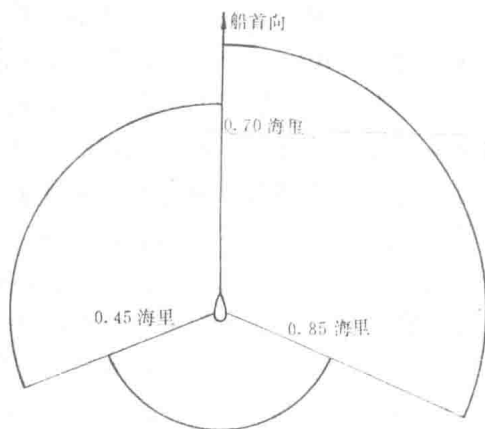


图4 开阔水域船舶领域模型

由此可见，藤井、Goodwin 和 Coldwell 给船舶领域下的定义及得到的模型是各不相同的。下面我们来分析一下它们之间的相同点和不同点。

我们先来分析它们之间的相同之处。

(1) 从本质上讲，他们提出的船舶领域的概念是相同的，都是指每一船舶周围都存在着一个为保证航行安全、避免发生碰撞事故所需的水域；

(2) 从他们提出的船舶领域模型中都可看出，避碰规则对船舶行为起着重要的指导作用；

(3) 从定义上看，他们都认为船舶领域是由会遇双方驾驶员中的一方保持的；

(4) 从船舶领域的形式来看，他们提出的领域都围绕

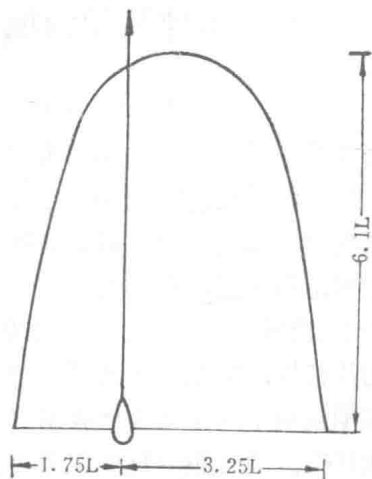


图5 限制水域中对遇船舶领域模型

会遇双方中的一方船舶，而船舶领域所包含的安全航行所需水域是两船共有的，这主要是由其目的决定的；

(5) 从目的来看，主要都是为了海上交通工程研究的目的而提出的；

(6) 他们所使用的研究方法都是海上交通调查和模拟器实验的方法；

(7) 他们都承认船舶领域受中心船的船长、船速、交通密度和水域状况等因素的影响，其中特别强调的是船长和水域因素的影响。指出船舶领域不是一个围绕中心船的固定界限，而是驾驶员随环境的变化所采用的水域。

尽管他们提出的概念和模型有上述共同点，但由于各自调查的水域、目的和思路不同，因而存在以下几个方面的差异：

(1) 从船舶领域的定义来看，藤井提出的围绕中心船（被追越船）的领域是由大多数追越船驾驶员所保持的；Goodwin 提出的船舶领域是围绕本船的，由本船驾驶员保持的；Coldwell 提出的船舶领域（这里指如图 5 所示的对遇模型，下同）是围绕本船的，由本船驾驶员保持的，但也特别强调了模型所反映的情况是典型驾驶员的情况；

(2) 从研究的水域和会遇形势来看，藤井提出的船舶领域模型适用于一条水道中追越会遇的情况；Goodwin 提出的船舶领域模型适用于开阔水域中各种会遇综合的情况；Coldwell 提出的船舶领域模型适用于限制水域或港口水道中的对遇会遇的情况。因此，由于避碰规则的原因，藤井提出的船舶领域模型是左右对称的，而 Goodwin 和 Coldwell 提出的船舶领域模型都是非对称的，这是合理的；

(3) 从确定船舶领域边界位置的方法来看，藤井和 Coldwell 都是采用船舶密度局部最大值点的位置；而 Goodwin 采用的是周围船舶实际密度第一次等于平均密度时的位置点。两种方法中，前者适用于航道中交通容量和航行安全的研究；而后一种适用于涉及交通危险标准的研究；

(4) 从建立船舶领域模型的船舶数据来看，藤井的观测对象主要是 20~500 总吨的沿海小船；Goodwin 观测对象是开阔水域中的大中型船舶，且吨位分布很广；Coldwell 在研究中未指出所观测船舶的吨位情况，只是在文献〔3〕表 3 中表明了船长小于 50 米和船长在 50 米到 100 米之间的情况；

(5) 从能见度情况来看，藤井认为“能见度下降看起来会使有效领域范围增加，但是能见度的进一步恶化却对领域范围没有明显的影响”。但 Goodwin 从模拟器的实验（假定能见度为 0.25 海里数据得到的领域却明显表明了能见度的影响。Coldwell 在报告中未表明能见度情况。

2 船舶领域分析

我们认为，在藤井、Goodwin 和 Coldwell 提出的船舶领域概念和模型中，以 Goodwin 的概念和模型最具有代表性，因此本文在这部分中着重分析 Goodwin 的船舶领域，指出其中的一些不合适的地方。

2.1 船舶领域的定义

正如第一节中所提出的那样，从藤井、Goodwin 和 Coldwell 给船舶领域下的定义来看，他们都认为船舶领域是由会遇双方驾驶中的一方保持的；而从船舶领域的形式来看，他

们又都承认船舶领域所包含的安全航行所需水域是会遇船双方所共有的。我们认为，在会遇双方都认为初始预计会遇距离 CPA_0 不安全时，一船采取避让行动，达到一个新的预计会遇距离 CPA_1 后，另一般如果采取避让行动，是因为该船驾驶员认为 CPA_1 也不够安全；如果该船不采取避让行动，则是因为该船驾驶员认为 CPA_1 已满足安全通过距离的要求了。这一安全航行所需水域是会遇双方所共有的，因此，我们认为船舶领域是由会遇双方驾驶员共同保持的，而不只是由一方驾驶员保持的。

2.2 船舶领域的尾部扇形

从技术上讲，船舶领域边界实质上是安全通过距离 CPA 半径外端点的轨迹。由于藤井、Goodwin 和 Coldwell 提出的船舶领域模型是在实际调查结果的基础上进行科学加工而得出的。模型本身只能说明这一客观存在的事实，不能说明更多的东西。因此，我们在这里所做的讨论是在肯定这一客观存在的事实的前提下对 Goodwin 模型的人为解释部分的讨论（下同），这也是本文进入以下几点讨论时所要说明的前提条件。

假设 Goodwin 的船舶领域理论成立（我们且理想地称领域内部是空白的），那么我们考虑如图 6 所示情况。在 A 船尾部有一 B 船， $CPA_0 = 0.45$ ，则在 A 船看来是安全的，没有必要采取行动，使之在 A 船领域之外。但对于 B 船来说，同样存在一个与 A 船相同的领域（假设 A 、 B 两船情况相同），在 B 船看来， A 船却处于 B 船领域右舷扇形中，因此 B 船要采取行动将 A 船保持在 B 船右舷领域之外。这样一来，在 A 船船尾大于 0.45 的一部分区域内也是空白的，因此所观测到的尾部领域扇形半径就不是 0.45 ，而是 0.8 左右。这与 Goodwin 实际观测结果相悖，因而原假设不成立，即 Goodwin 对观测结果的解释在这一点上是错误的。

2.3 互见中避碰规则对船舶领域的影响

Goodwin 在文献〔6〕中写道“国际避碰规则要求危险来自不同方位时要采取不同的行动，这使我们联想到围绕中心船的水域是不对称的”。这就是说 Goodwin 认为右舷扇形大是因为右舷来船时本船是让路船的原因。Davis 等人也对 Goodwin 的模型给予了同样的解释：“Goodwin 的领域概念提出了船舶从不同方向接近时，给予不同的加权的想法。最大的一个区域在驾驶员自己的右舷，因为在这一区域中他必须采取避让行动。”这是不对的。一般来讲，在互见中，规则要求船舶要以左舷对左舷通过，而右舷对右舷通过的情况是违反规则的，因而通过距离要更大一些。对此 Coldwell 和 James 都做过说明。但是，是不是因此 Goodwin 的领域扇形就是对的呢？也不是的。正如第二小节中所述的那样，船舶领域边界实质上是 CPA 外端点的轨迹。我们只能说，在本船履行让路义务时，向右转向是符合规则的， CPA 可以小一点，满足“安全”即可；向左转向不符合规则， CPA 要更大一些。因此船舶领域不应是对称的，而且应为右舷扇形大，左舷扇形小。但并不能因此就断定较大的扇形对应的方位角为 0° 到 112.5° ，左舷较小的扇形对应的方位角为 247.5° 到 360° 。此

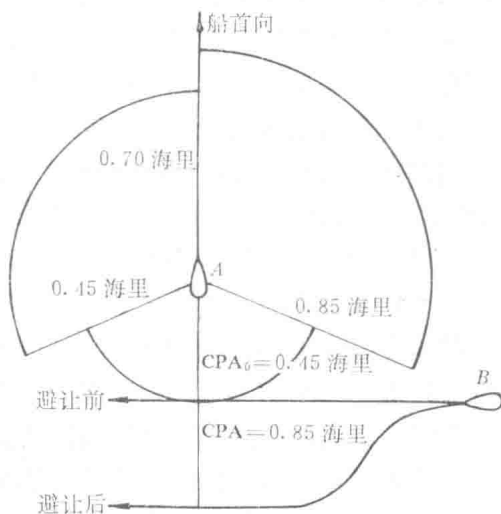


图 6 来船相对运动线过本船船尾

外,不同方位的领域半径的变化应是渐变的。而不是如图 4 所示那样的突然变化的。

2·4 能见度不良时船舶领域的形状

尽管 Goodwin 认识到了避碰规则对船舶领域形状的影响如上所述,但却忽视了互见中和能见度不良时避碰规则对船舶避让行为的不同要求,因而就忽视了互见时和能见度不良时,船舶领域形状应当不同这一事实,而将两者等同起来了。

2·5 用于计算会遇率的问题

假设 Goodwin 的船舶领域模型是正确的,那么我们看看将其用于会遇率计算时可能会出现的问题。

图 7 中 B 船与 A 船同向航行且在 A 船右舷通过, $CPA=0.75$ 。按照 Goodwin 的一船进入另一船领域范围以内作为一次会遇的定义,那么,对于 A 船来说,这种情况算做一次会遇,因为 B 船进入 A 船右舷领域扇形内。但对于 B 船来说却不算做一次会遇,因为 A 船在 B 船左舷领域扇形之外。会遇是与碰撞事故密切相关且在一定程度上表征海上交通危险的一种特殊的船舶相遇情况。但是,在上面我们看到,同样一种情况,对于 A 船来说可能导致与 B 船的碰撞,而对于 B 船来说却不能导致与 A 船的碰撞,这是相互矛盾的。因此原假设不成立。

2·6 判断碰撞危险的问题

除上述情况外,还有一种情况可以说明 Goodwin 的船舶领域模型存在问题。

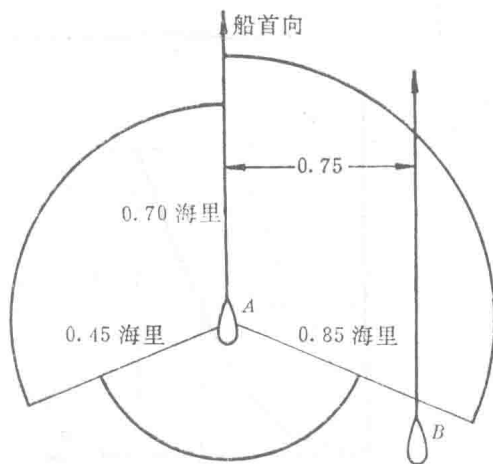


图 7 来船相对运动线过本船右舷

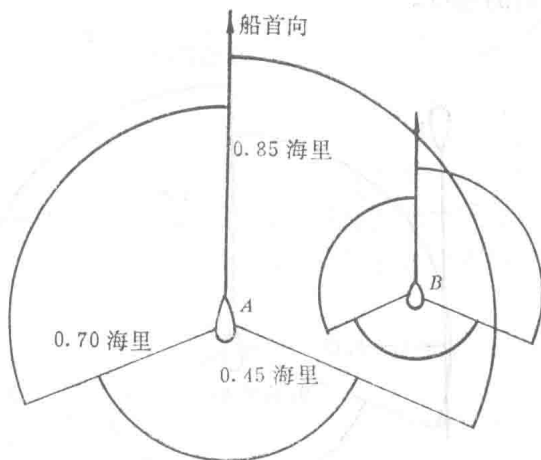


图 8 来船是小船

Goodwin 等人都承认船舶领域尺度随中心船船速和尺度的变化而变化,因此大船船舶领域大,小船的船舶领域尺度小。如果有一艘小船位于一般大船的右舷领域扇形之内,而大船位于左舷领域扇形之外(如图 8 所示),则按照船舶领域理论,这种情况对于 A 船来说是危险的,但对于 B 船来说却是安全的。这又是矛盾的。

2·7 能见度不良时的船舶领域尺度问题

Goodwin 所提出的能见度不良时船舶领域尺度是由模拟器实验的结果得出的。与能见度良好时船舶领域尺度相差甚大。但文献〔9〕对海上避碰实况调查的结果表明,在开阔水域中,能见度良好时的 CPA 值约为 1.24 ,能见度不良时约为 1.32 ,相差不大。藤井也指出“能见度的进一步恶化对船舶领域范围没有明显的影响”。因此,我们认为应对能见度不良时的船舶领域情况进行实态调查,不应过分相信模拟器实验结果。更何况受试海员在海上

实际遇到能见度为 0.25 的情况并不是很多的，对于他们在这方面所积累的经验应在一定程度上表示怀疑。此外实验时人的心理因素会发生一些变化，这无疑也影响实验结果。

2.8 船舶领域边界应当是模糊的

按照船舶领域的定义，驾驶员要把其它物标保持在领域范围之外，如果来船的相对运动线位于本船领域范围之内，那么本船驾驶员就要采取行动使之保持在领域范围之外。但是，如果预计会遇距离与领域半径相差很小，例如预计会遇距离在左舷，且 $CPA_0 = 0.69$ （如图 9 所示），按照船舶领域理论和如图 4 所示的模型来说，A 船驾驶员会因为 B 船相对运动线进入左舷领域而感到不安全并采取避让行动，使之保持在左舷领域之外。这是与实际情况相悖的。一般来说，如果预计会遇距离与所选择的安全会遇距离相差很小时，驾驶员是不会采取行动的，这是符合人的心理状态的。那么相差多大可认为是相差“很小”呢？这是一个模糊概念。我们设预计会遇距离和安全会遇距离（这里是领域半径）CPA 之差为 y ：

$$y = |CPA - CPA_0| / CPA \tag{1}$$

则表示相差“不很小”的模糊集合 $\tilde{S}$ 的隶属函数如图 10 所示，其表达式如下：

$$\begin{cases} u_{\tilde{S}}(y) = \lambda_1 y^{\lambda_2}, & y \leq y_1 \\ u_{\tilde{S}}(y) = 1, & y > y_1 \end{cases} \tag{2}$$

其中 y_1 是使 $\lambda_1 y^{\lambda_2} = 1$ 的 y 值。 λ_1 、 λ_2 是正的参量，随具体情况的变化而变化，反映着驾驶员的态度。

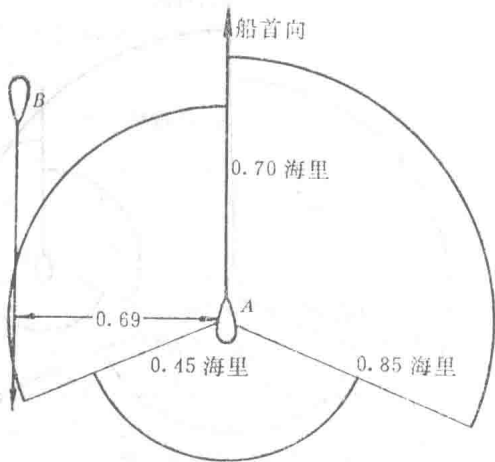


图 9 CPA_0 与CPA相差很小

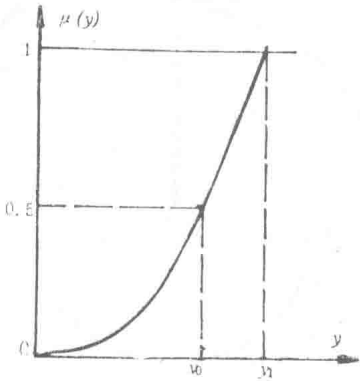


图 10 模糊集合 $\tilde{S}$ 的隶属函数

船舶领域模糊边界 (fuzzy boundary of domain, FBD) 的概念是这样的：船舶领域的边界是模糊的；如果来船相对运动线在模糊边界之外，则是安全的，不采取行动；如果来船相对运动线在模糊边界之中，则是危险的，但由于危险度较小，可以不采取行动；如果来船相对运动线在模糊边界以内，则是危险的，要采取行动，使之保持在模糊边界之外（如图 11 所示）。

用数学表达式表示上述概念即为：

- (1) 模糊边界的宽度 FBD 为 $y_{0.5}$ ；
- (2) 如果 $CPA_0 \geq CPA$ ，则是安全的，不采取行动；
- (3) 如果 $CPA - FBD \leq CPA_0 < CPA$ ，则是危险的，但由于危险度较小，可以不采取行动

动;

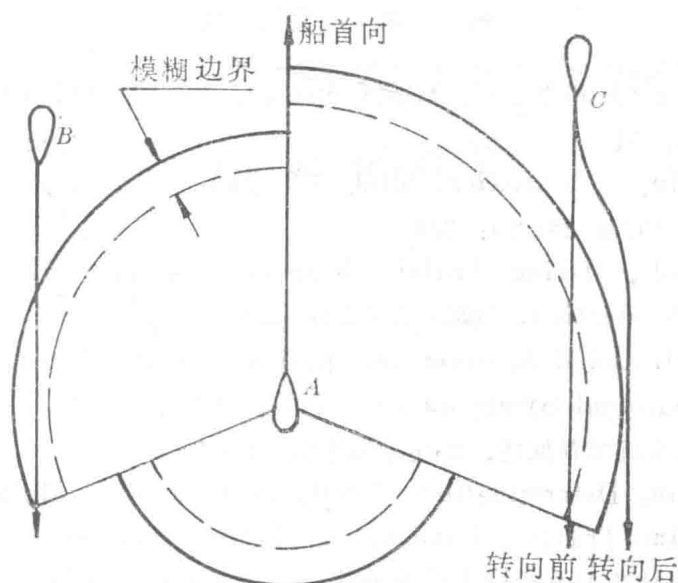


图11 船舶领域的模糊边界

(4) 如果 $CPA_0 < CPA - FBD$, 则是危险的, 要采取行动, 使实际通过距离大于等于 CPA .

3 结束语

船舶领域自1963年由藤井等人提出之后, 在理论上和应用上都有了很大进展, 并取得了可喜的成果。但是, 二十多年来, 尽管有许多专家学者从事船舶领域的理论和应用研究, 却未见有人就船舶领域存在的问题进行分析。因此本文就此进行了讨论, 下一步将就如何解决这些问题进行研究。

参 考 文 献

- [1] Y Fuji and K Tanaka. Traffic Capacity. The Journal of Navigation, 1971; 24(3): 543
- [2] E M Goodwin. A Statistical Study of Ship Domains. The Journal of Navigation, 1975; 28(2): 328
- [3] T G Coldwell. Marine Traffic Behaviour in Restricted Waters. The Journal of Navigation, 1983; 36(3): 430
- [4] T G Coldwell and E M Goodwin. Applications of the Ship Domains. The Fifth International Symposium on VTS, 1984
- [5] 吴兆麟. 海上交通工程概述. 大连海运学院, 1984
- [6] E M Goodwin. Determination of Ship Domain Size. Mathematical Aspects of Marine Traffic. London: Academic Press; 103
- [7] P V Davis, M J Dove and C Stocket. A Computer Simulation of Marine Traffic Using Domains and Arenas. The Journal of Navigation 1980; 33(2): 215
- [8] M K James. Modelling the Decision Process in Computer Simulation of Ship Navigation. The Journal of Navigation, 1986; 39(1): 32
- [9] 吴兆麟, 王逢辰. 海上船舶避碰行为的统计研究. 中国航海, 1986(1)

时间序列分析方法在OMEGA船位误差分析中的应用

毕修影 李浑成

(航海技术研究生) (航海系天文教研室)

〔提要〕 本文应用时间序列分析的方法,建立了OMEGA 船位误差序列的数学模型,并对该模型的应用作了讨论。

1 引言

OMEGA 无线电导航系统是近十几年来发展起来的一种甚低频电子双曲线导航系统。由于它的超远程、全天候、全球性与实时性等突出优点,航海界曾对它寄以很大的希望,但目前,该系统的定位精度还很差,以致于影响了它的有效使用。究其原因主要是受电离层高度变化的影响,使得有些海域甚低频无线电波的传播修正量不够准确。尽管人们曾做了大量的试验和改进工作,使得定位的精度有了一定的提高,但他们都是从误差产生的原因出发,寻找对应的因果关系,所以不能从根本上解决问题。我们知道,电离层高度的昼夜变化和地球磁场、地面电导率的不均匀性,使OMEGA 定位误差不仅是时间季节的函数,也是空间位置的函数。象这样错综复杂的问题,寻找准确的因果关系决非容易的事情。因此,有必要用统计分析的方法研究这些具有动态特征的不确定现象,即从时间序列分析的角度探讨OMEGA 船位误差序列的结构特征,建立表征这种结构关系的数学模型,并用此模型说明该系统的工作情况和这些数据所表现出的具体含义。

2 OMEGA 船位误差序列模型的建立

OMEGA 船位误差序列是非平稳的时间数据列,它可以表示成下面组合模型的形式:

$$y_t = u_t + x_t \quad (1)$$

$$u_t = A_0 + \sum_{i=1}^l (A_i \cos i\omega t + B_i \sin i\omega t) \quad (2)$$

式中, u_t 为周期趋势分量; x_t 表示零均值的平稳时间序列; A_0 表示固定偏差; A_i 、 B_i 表示周期项的系数; l 表示周期项的个数; ω 表示基本角频率,就OMEGA 船位误差数据来说,为 $2\pi/24 \text{ rad/h}$ 。

下面分别建立它们的数学模型。

2.1 周期分量 u_t 模型的自动辨识

时间序列的分析方法总是假定序列具有平稳的性质。因此,从OMEGA 船位误差序列

中提取非平稳的周期趋势使序列平稳化是建模过程中首先要解决的问题。从 u_t 的表达式中可以看出, 所谓建立 u_t 的数学模型就有效地估计 (2) 式中各项的系数和识别周期项的项数。为此, 我们用线性递推最小二乘法估计各项的系数和用 F 检验法自动确定周期项数 l , 从而得到 OMEGA 船位误差序列周期分量的数学模型为

$$\begin{aligned} u_t^{(1)} = & -0.14 - 1.57\cos\omega t - 1.56\sin\omega t + 0.31\cos 2\omega t \\ & - 0.24\sin 2\omega t - 0.18\cos 3\omega t + 0.52\sin 3\omega t \\ & - 0.30\cos 4\omega t - 0.16\sin 4\omega t + 0.28\cos 5\omega t \\ & + 0.32\sin 5\omega t \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} u_t^{(2)} = & 1.58 - 1.42\cos\omega t - 0.09\sin\omega t + 0.33\cos 2\omega t \\ & - 0.17\sin 2\omega t - 0.01\cos 3\omega t + 0.70\sin 3\omega t \\ & - 0.69\cos 4\omega t - 0.08\sin 4\omega t + 0.08\cos 5\omega t \\ & + 0.34\sin 5\omega t + 0.26\cos 6\omega t + 0.16\sin 6\omega t \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $\omega = 2\pi/24\text{rad/h}$; t 表示小时数; $u_t^{(1)}$ 表示纬度误差; $u_t^{(2)}$ 表示经度误差。

u_t 模型的物理意义是, 它表明了 OMEGA 船位系统误差随时间的变化规律。从随机过程的角度看, 它是 OMEGA 船位误差序列均值函数的表征。于是用 u_t 修正误差列 y_t 就可以消去 OMEGA 船位系统误差项, 得到残差序列 x_t 。下面再对 x_t 进行模型辨识。

2.2 残差序列模型的自动辨识

建立残差序列的模型之前, 需要检验该序列的平稳特性, 这一结果可直接从 $\{x_t\}$ 的散点图和自相关函数曲线图中得到。进一步分析自相关函数和偏相关函数的尾部特性, 结合谱线图的特征, 可知 x_t 可用 $AR(P)$ 线性模型具体描述。这里, 模型的参数是采用线性递推最小二乘法估出, 自回归的阶数用 F 检验法确定, 于是得到残差分量的数学模型为

$$x_t^{(1)} = 0.84x_{t-1}^{(1)} + a_t^{(1)} \quad (5)$$

$$x_t^{(2)} = 0.75x_{t-1}^{(2)} + a_t^{(2)} \quad (6)$$

该残差分量就是我们以前所说的随机误差项, 它们的前后值之间是相互关联的, a_t 为白噪声序列, 它的方差分别为 $\sigma_{a_t^{(1)}}^2 = 0.15$, $\sigma_{a_t^{(2)}}^2 = 0.21$ 。

2.3 组合模型

用前述得到的两部分参数估值作为初值, 对确定性部分和自回归部分的所有参数用非线性最小二乘法重新估计, 得到组合模型的最终估计为

$$\begin{aligned} y_t^{(1)} = & -0.15 - 1.57\cos\omega t - 1.56\sin\omega t + 0.31\cos 2\omega t \\ & - 0.25\sin 2\omega t - 0.18\cos 3\omega t + 0.52\sin 3\omega t \\ & - 0.30\cos 4\omega t - 0.16\sin 4\omega t + 0.28\cos 5\omega t \\ & + 0.33\sin 5\omega t + 0.85x_{t-1}^{(1)} + a_t^{(1)} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} y_t^{(2)} = & 1.62 - 1.41\cos\omega t - 0.07\sin\omega t + 0.35\cos 2\omega t \\ & - 0.13\sin 2\omega t - 0.02\cos 3\omega t + 0.74\sin 3\omega t \\ & - 0.69\cos 4\omega t - 0.08\sin 4\omega t - 0.07\cos 5\omega t \\ & + 0.35\sin 5\omega t + 0.26\cos 6\omega t + 0.18\sin 6\omega t \\ & + 0.74x_{t-1}^{(2)} + a_t^{(2)} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: x_t 为 y_t 中去掉趋势分量的序列; a_t 为白噪声序列; $\sigma_{a_t^{(1)}}^2 = 0.20$, $\sigma_{a_t^{(2)}}^2 = 0.29$ 。

以上我们从应用的观点给出了 OMEGA 船位误差序列模型的自动辨识程序,其功能是当观测数据输入到该辨识程序后,可自动地给出合适的模型的阶数以及模型参数的递推最小二乘估值,该模型自动辨识流程如图 1 所示。

2.4 模型的检验

所谓检验模型 (7) 和 (8) 是否合适,也就是检验模型中自回归系数是否满足渐近平稳条件和检验残差 a_t 是否为白噪声序列。由于 $|\varphi_1^{(1)}| = 0.85 < 1$, $|\varphi_1^{(2)}| = 0.74 < 1$,所以模型中自回归的系数满足渐近平稳的条件,而对于 a_t 的检验,应用 χ^2 检验统计量得到 $a_t^{(1)}$ 和 $a_t^{(2)}$ 都是白噪声序列,所以模型合适。

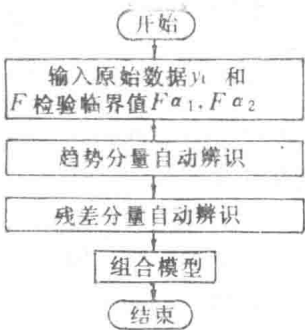


图 1 程序框图

3 模型应用的讨论

从 OMEGA 船位误差序列的数学模型中不难看出,该序列的变化规律和它们之间的相互依赖关系,以及随机偏差量的预测精度范围。从船位误差序列中提出周期分量和相关分量后,可改取我们对该系统定位精度的认识,原始序列的方差分别为 $\sigma_{y_t^{(1)}}^2 = 3.32$, $\sigma_{y_t^{(2)}}^2 = 2.10$,提出周期项与相关项后的残差序列的方差分别为 $\sigma_{a_t^{(1)}}^2 = 0.20$, $\sigma_{a_t^{(2)}}^2 = 0.29$ 。

建立模型的另一个目的是为了进行预测,根据现在和以前时刻的 OMEGA 船位误差序列的观测值,预报下一时刻的误差值。然后用该预报误差修正所得观测船位,将得到更接近

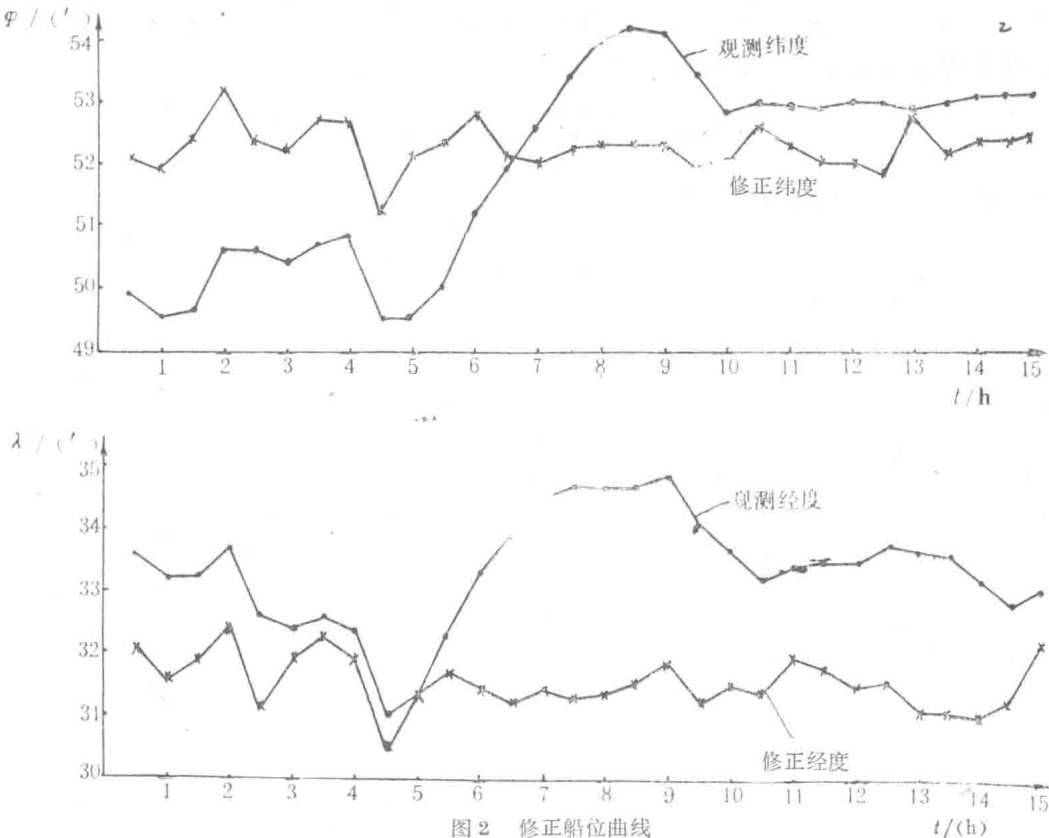


图 2 修正船位曲线

于真值的船位数据。按照这样的思想方法,我们把计算的结果用曲线的形式表示,如图 2 所示。

计算以上 30 个观测数据,得观测船位的标准偏差 $\sigma_{\varphi}=1.57\text{nmile}$, $\sigma_{\lambda}=0.93\text{nmile}$, 修正船位的标准偏差 $\sigma_{\varphi}=0.28\text{nmile}$, $\sigma_{\lambda}=0.45\text{nmile}$ 。由此也可看出修正后的船位精度有了明显的提高。

以上我们只对定点的船位数据作了多步的预报,对于动点的船位数据,如果能够获得一段船位误差数据,同样可以预测出下一段时间的误差值来。

OMEGA 船位误差序列模型的另一个应用是为滤波算法提供模型。我们知道,卡尔曼滤波算法中,当模型噪声与量测噪声不是白噪声时,需求出该噪声的数学模型,而我们建立的 OMEGA 船位误差序列的数学模型正是量测噪声模型。至此我们看到建立 OMEGA 船位误差序列模型的重要意义和它的实用价值。

4 结束语

以上我们应用统计分析的方法,讨论了建立随机时间 OMEGA 船位误差序列的数学模型,并介绍了该模型的应用。所得的结论和计算的结果表明,OMEGA 船位误差序列是有它固有的属性的,应用时间序列分析的方法,不仅能给出系统偏差量的大小,从而得到更为准确的船位,而且也加深了我们对于数据结构的认识。通过分析可以看到,对于 OMEGA 船位误差的研究,考虑到它本身的动态特性,不应停留在简单的随机变量的描述上,而应从新的高度看待这一问题,以便增加我们对于船位误差本质的认识,进一步达到由表及里、把握控制规律和能预测未来的目的。以上这种船位误差的分析方法,不仅适用于 OMEGA 船位数据,对于其它的导航误差也同样适用。

参 考 文 献

- [1] 安鸿志等,时间序列的分析与应用。北京科学出版社,1983