

文章编号: 1002-0411(2000)05-0466-05

雷达导航避碰模糊识别

孙占华

(天津大学电子信息工程学院 300072)

摘 要: 在多目标雷达导航避碰过程中, 识别目标船相对于本船可能发生碰撞的危险程度是驾驶员十分重要的工作, 通常是由驾驶员根据经验作出人为的识别或判断, 本文运用模糊数学综合评判理论于船舶雷达导航避碰技术中, 综合分析目标相对于本船的方位, 距离, 最近碰撞点和最近碰撞时间参数, 将目标碰撞危险程度这一模糊概念加以数量化, 最终提出一种新的目标碰撞危险度综合评判数学模型.*

关键词: CPA-最近碰撞点, TCPA-最近碰撞时间, 碰撞危险度

中图分类号: TP 29

文献标识码: B

1 目标碰撞危险度与雷达避碰

ARPA (Automatic Radar Plotting Aid)-雷达自动标图仪是目前较为先进雷达导航避碰装置. 它为驾驶员所提供的周围目标参数: 最近碰撞点 CPA (Closest Point of Approach) 和最近碰撞时间 TCPA (Time to Closest Point of Approach) 是实现船舶雷达避碰的两大要素. 根据 CPA, TCPA 值的大小, ARPA 还可以判断目标船对本船的碰撞危险程度, 由此完成对危险目标优先录取. 跟踪. 更新及报警.

但是判断目标船对本船是否有碰撞危险, 仅仅以目标参数 CPA, TCPA 值的大小为依据是不充分的, 尤其是在多目标情况下, 见图 1, 根据雷达作图, 即使 A, B, C 三个目标的 CPA, TCPA 值都相同, 而它们相对本船所处方位不同. 根据船舶避让规则, 显然三个目标对本船碰撞危险程度应不相同. 通常本船船首附近的目标要比船尾附近的目标更存在碰撞危险. 同样, 目标相对于本船的距离也是影响目标危险程度的重要参数.

因此判断目标危险程度不仅要根据 CPA, TCPA, 而且要考虑目标相对于本船的位置参数进行综合判断. 实际上这种综合性判断目前大多是由驾驶员人为判断来实现. 日本安立公司设计的 JAS-800 ARPA 雷达自动标图仪在考虑目标位置参数对目标危险程度的影响时, 将本船雷达观测范围划分为三个区域, 见图 2.

规定各区域中的目标危险等级顺序为: I, II, III 区. 认为 I 区目标最危险, 其次 II 区, 最后 III 区. 凡进入 I 区的目标视为危险目标, 并发出报警. 假设 A, B 两个目标分别位于 I, II 区, 如果仅从目标位置考虑两者的危险程度, 虽有差别但相差很小. 可是这种区域划分将 A, B 两个目标判断为不同的危险等级, 显然是不合理的. 因为“危险目标”或“安全目标”是一种模糊概念, 两者并无严格界线. 如果某目标对本船有七分危险, 三分安全, 则认为此目标“比较危险”, 反之则认为此目标“比较安全”. 如果用一个连续变化的量来描述目标危险程度这一模糊概念, 即对每一目标性质有一个定量描述从而消除某种人为定义的界线. 因此在雷达导航避碰中, 目

* 收稿日期: 1999-08-30

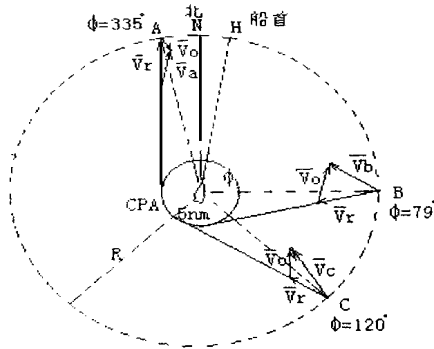


图1 $R = 4\text{nm}$ $CFA = 5\text{nm}$ $TCFA = 15\text{m}$

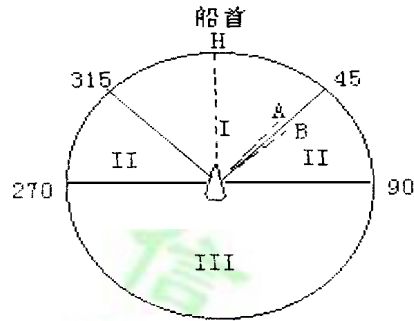


图2 JAS-800ARPA 目标危险区域划分

标相对于本船是否危险可以用其危险度大小衡量. 判断甲目标比乙目标更危险是因为甲的危险度比乙的危险度大.

2 目标碰撞危险度模糊判别模型

将模糊数学中综合评判理论应用于雷达导航避碰过程中, 对影响目标危险程度的各种因素进行综合评判, 得出目标危险度这一模糊量. 实现模糊数学综合评判应具备以下要素:

- 因素集: $U = \{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n\}$
- 评语集: $V = \{v_1 v_2 \dots v_m\}$
- 评判矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中 r_{ik} 表示第 i 个因素的评判对于第 k 个评语等级的隶属度, 相对于各因素的权重分配 $A =$

$$(a_1 a_2 \dots a_n) \text{ 其中 } a_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1$$

则评判结果

$$B = A \cdot R = (a_1 a_2 \dots a_n) \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} = (b_1 b_2 \dots b_m) \quad (2)$$

一般使 B 满足归一化条件: $\sum_{j=1}^m b_j = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad b_j$ 是对评语 v_j 的评判结果 $A \cdot R$ 为矩阵合成运算:

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

称为主因素决定型记作 $M(\wedge, \vee)$. 因各量间只进行取小取大运算, 则信息丢失严重这里采用一种广义模糊运算法

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

称为加权平均型记作 $M(\cdot, \ominus)$, 其中 \sum 表示

$$\sum_{i=1}^n x_i = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n \quad x_i \oplus x_j = \min(1, x_i + x_j)$$

以上计算方法是对所有因素依照其权重大小均衡兼顾, 全面考虑, 已知雷达目标参数: 目标距离 R , 目标方位 Φ , 目标最接近点 CPA, 目标最接近点时间 TCPA 分别记为 R, Φ, C, T 由此构成

目标因素集: $U = (R, \Phi, C, T)$

目标评语集: $V = (v_1, v_2)$ 其中 $v_1 =$ 目标危险, $v_2 =$ 目标安全

目标因素的权重分配:

$$A = (a_R, a_\Phi, a_C, a_T)$$

$$a_R > 0, a_\Phi > 0, a_C > 0, a_T > 0 \quad a_R + a_\Phi + a_C + a_T = 1$$

各权重的选择应根据目标各参数对本船碰撞危险的大小来决定目标评判矩阵

$$R = \begin{pmatrix} r_R & 1 - r_R \\ r_\Phi & 1 - r_\Phi \\ r_C & 1 - r_C \\ r_T & 1 - r_T \end{pmatrix} \quad 0 \leq r_R \leq 1, 0 \leq r_\Phi \leq 1, 0 \leq r_C \leq 1, 0 \leq r_T \leq 1 \quad (5)$$

$r_R r_\Phi r_C r_T$ 为目标危险隶属度, 即目标各参数对本船的碰撞危险程度其计算公式为

$$r_R = \frac{1}{1 + (R/R_0)^2} \quad 0 \leq R_{\max} \quad (6)$$

$$r_\Phi = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\Phi/\Phi_0)^4} & 0 \leq \Phi \leq 180^\circ \\ \frac{1}{[\frac{360^\circ - \Phi}{\Phi_0}]^4} & 180^\circ < \Phi \leq 360^\circ \end{cases} \quad (7)$$

$$r_C = \frac{1}{1 + (C/C_0)^2} \quad 0 \leq C_{\min} \quad (8)$$

$$r_T = \frac{1}{1 + (T/T_0)^2} \quad 0 \leq T_{\min} \quad (9)$$

其中 R_0, Φ_0, C_0, T_0 , 为常数, 当 $R = R_0, \Phi = \Phi_0, C = C_0, T = T_0$ 时, 则 $r_R = 0.5, r_\Phi = 0.5, r_C = 0.5, r_T = 0.5$, 可以将 R_0, Φ_0, C_0, T_0 视为危险目标参数门限值, 其大小选择应根据雷达避碰的实际情况, 通常选定 $R_0 = 12\text{nm}, \Phi_0 = \pm 45^\circ, C_0 = 1\text{nm}, T_0 = 30\text{min}$ 作为危险目标门限值, 如果目标参数小于此值, 则视为危险目标, 其目标危险程度则取决于如下综合评判结果

$$B = A \cdot B = (a_R a_\Phi a_C a_T) \cdot \begin{pmatrix} r_R & 1 - r_R \\ r_\Phi & 1 - r_\Phi \\ r_C & 1 - r_C \\ r_T & 1 - r_T \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$B = (a_R r_R \oplus a_\Phi r_\Phi \oplus a_C r_C \oplus a_T r_T \oplus a_R(1 - r_R) \oplus a_\Phi(1 - r_\Phi) \oplus a_C(1 - r_C) \oplus a_T(1 - r_T)) \quad (11)$$

由上榜条件可知

$$a_R r_R + a_\Phi r_\Phi + a_C r_C + a_T r_T \leq 1$$

则

$$B = [a_R r_R + a_\Phi r_\Phi + a_C r_C + a_T r_T, 1 - (a_R r_R + a_\Phi r_\Phi + a_C r_C + a_T r_T)] \quad (12)$$

显然 B 满足归一化条件 B 中第一项为评语是“目标危险”的评判结果, 即目标危险度; 第二项“目标安全”评判结果, 即目标安全度这里我们可以只考虑目标危险度

$$b = a_R r_R + a_\Phi r_\Phi + a_C r_C + a_T r_T \quad (13)$$

由此式可见目标危险度为目标参数: 距离, 方位, CPA , $TCPA$ 对本船危险隶属度 r_R, r_Φ, r_C, r_T 的加权之和, 目标危险度取值范围: $b \in [0, 1]$

当某目标 $b = 0.8$, 则判断此目标对本船有 80% 的碰撞危险在多目标情况下分别计算各目标危险度, 相比较确定危险等级, 最大者为最危险目标。

由此可以划出相对于某一危险度的目标危险区域, 见图 4。图中 $b = 0.7$ 曲线内区域中的目标危险度大于 0.7, 此曲线外区域中目标危险度小于 0.7, 可见目标碰撞危险区域近似为一扇形区域, 此结果与雷达避碰实际情况相符。

可见 A 目标最危险, 其次是 B 和 C 目标当各目标参数 R, C, T 相同, 目标相对于本船的方位 Φ 改变, 则目标危险度随之变化, 见图 3。

已知: $b = b(R, \Phi, C, T)$, 设: C, T 为常数, 则: $b = b(R, \Phi)$

当各目标 $CPA, TCPA$ 值相同时, 目标危险度取决于目标的集团: 距离 R 和方位 Φ 。

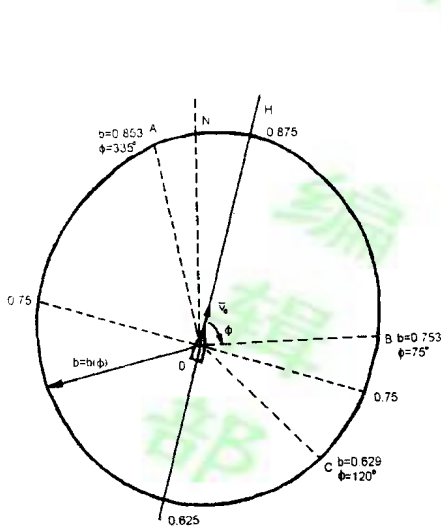


图 3 $b = b(\Phi)$ $A = (25, 25, 25, 25)$
 $R = 4 \text{ nm}$ $CPA = 0.5 \text{ nm}$ $TCPA = 15 \text{ nm}$
 $\tau_c = 12 \text{ nm}$ $\Phi_c = 45^\circ$ $C = 1 \text{ nm}$ $T = 30 \text{ min}$

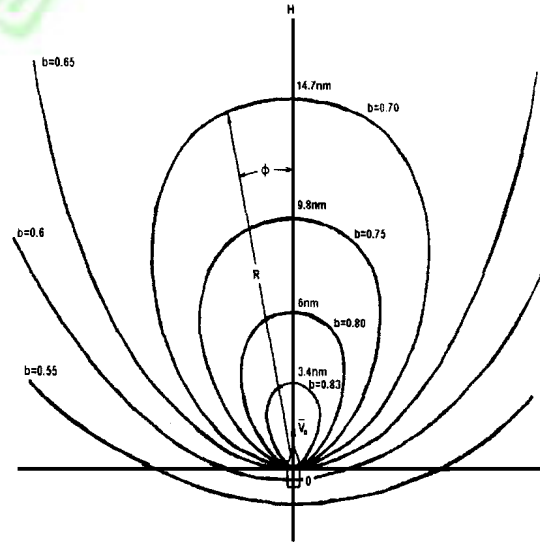


图 4 $b = b(R, \Phi)$
 $R_c = 12 \text{ nm}$ $\Phi_c = 45^\circ$ $C = 1 \text{ nm}$ $T = 30 \text{ min}$
 $CPA = 0.5 \text{ nm}$ $TCPA = 15 \text{ min}$ $A = (25, 25, 25, 25)$

3 结论

在多目标船舶雷达导航避碰中, 识别哪些目标对本船可能有危险, 危险程度有多大, 尤其是判断出最危险目标, 优先采取避让措施是驾驶员的首要任务。由于影响目标危险程度的因素很多, 仅仅依靠人的大脑在短时间内进行综合分析, 作出精确, 可靠的判断是不可能的。

本文借用模糊数学理论, 实现目标危险度综合评判, 得出目标危险度数学模型。它将目标

危险度这一模糊概念用数学模型来定量描述. 此方法已在“船舶雷达信息自动输出系统”及“危险目标报警系统”部级科研项目中进行了实验并采用, 取得了良好效果.

参 考 文 献

- 1 雷达导航中的可能碰撞危险度. 国外航海技术, 1984
- 2 陈永义等. 综合评判的数学模型. 模糊数学, 1983
- 3 ARPA JAS-800 Technical Manual, JRC Japan Radio Co., Ltd
- 4 李人厚. 关于模糊辨别的理论与应用实际问题. 控制理论与应用, 1995, 12(2)
- 5 王时标. 数域上的模糊模式识别方法. 模糊系统与数学, 1995
- 6 Supervised Fuzzy Pattern Recognition, B. Shukhat, Fuzzy Sets and Systems, 1998, 16 Nov

RADAR NAVIGATION AND CRASH AVOIDANCE BY FUZZY RECOGNITION

SUN Zhan-hua

(Tianjin University 300072)

Abstract: The most important job of navigation is to determine which is dangerous target, which may crash our vessel in several targets. It's made humanly by navigator, usually depending on the experience of navigator, By application of fuzzy mathematics to the technique of radar marine navigation and crash avoidance, synthetically analysing the target distance, direction, closest point of approach and time to closest point of approach, an new mathematics model for synthetically determining dangerous target has been introduced in this paper. It can be used to describe the dangerous state of target, a indistinct notion, by quantity.

Keywords: CPA-closest point of approach, TCPA-time to closest point of approach, crash degree by dangerous target

作者简介

孙占华(1958-), 男, 硕士. 研究领域为雷达, 通信.

(上接第 465 页)

Abstract: The insufficiency of RNN algorithm has been pointed out and corrected in this paper. Aiming at the shortages of the inverted dynamic model, an adaptive PID control system has been proposed, and the auxiliary regulating algorithm has been provided. Simulation results show that this system can achieve good control accuracy and has good robustness.

Keywords: recurrent neural networks, nonlinear dynamic system, adaptive control

作者简介

陈 巍(1971-), 博士, 研究领域为神经网络, 自适应控制, 电力系统非线性控制等.

吴 捷, 岁, 华南理工大学电力学院院长, 博士生导师. 研究领域为.