基于GIS的航行空间危险度计算与评价

**摘要：**为了对船舶航行的海域空间的会遇危险度进行直观、连续的表达，构建船舶领域模型与动界模型，基于领域侵犯度 degree of domain violation与领域侵犯时间time to domain violation，以航迹线、领域边界和动界为关键点，运用GIS的手段对在未来时间内会发生碰撞危险的海域空间危险度进行插值，运用现有危险度计算方法构建评价点，对多种插值结果进行评价与选优，结果表明XX方法有效的表达。。。，相关性为。。。，, 结果可提供直观、连续的的航行空间危险度计算结果, 为安全避碰提供合理依据 。

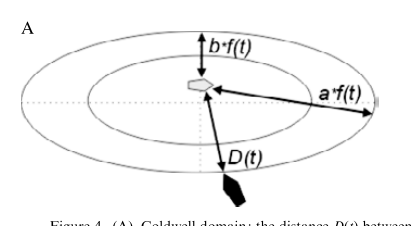
1. 背景介绍

根据联合国贸易和发展会议（2018）的数据，过去50年来，全球海上贸易总量一直稳定增长，年均增长率约为3.1％。2016年，全球海运贸易量达到103亿吨，约占全球商品贸易总额的80％【1】。伴随着海运业的繁荣，船舶数量日益增长，海上交通密度逐渐增大，海上交通事故发生率也逐年变多，安联《2017年安全与航运报告》中显示船舶沉没、损坏/搁浅、火灾/爆炸、机械故障以及碰撞是过去十年海上失事最常见的原因，在过去十年报告的25967人伤亡中，船舶碰撞占3787人。碰撞危险度作为进行避碰决策与行为的重要依据，其计算方法多样化、准确化，展示方法自动化、智能化，成为受到广泛关注的研究和实践领域。

在船舶碰撞危险度计算领域， distance at closest point of approach (DCPA) 和 time to the closest point of approach (TCPA)以其计算方法简单，计算结果明确的特点，在电子海图与Automatic Radar Plotting Aid (ARPA)中，都受到了广泛的应用，并成为了船舶避碰和决策支持系统构建的行业标准。Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs)《国际海上避碰规则》规定了碰撞危险的判定方法，在船舶避碰实际运用中，通常都采用给DCPA与TCPA设置安全阈值的方法，通过大量的调查研究，当DCPA小于一定距离，或TCPA少于一定时间时，则认为两船存在碰撞风险，但是这种方式具有“一刀切”的特点【3】，不符合当前航运的发展趋势，众多学者基于DCPA与TCPA提出了各种形式的碰撞危险度计算方法，或在这些计算方法的基础上，进行改进。Kearon【4】提出了通过对DCPA与TCPA进行加权计算，判断两船的碰撞危险度大小，该方法虽然综合考虑了DCPA与TCPA对碰撞危险度的影响，但在模型中，比例系数的确定不能完全反映各种航行条件，会遇状况下的碰撞危险程度要求。郑中义【7】基于刺激-行动理论，建立了空间碰撞危险度与时间碰撞危险度模型，以及通过模糊数学方法，考虑了各种会遇影响因素，综合构建碰撞危险度模型，基于此模型计算未来碰撞危险海域可以更加精确。

碰撞危险度的显示Aleksishin【5】基于Velocity Obstacle模型，通过确定船舶会遇的安全边界以及船舶的运动状态，并设计了一种数值方法来定义一组安全的速度矢量，这种方法也能体现会遇安全的动态性需求，但从结果来讲，只做到了定性分析，没有做到定量分析。 Sawada【6】在 Obstacle zone by target (OZT) 模型的基础上进行改进，并提出了Inside OZT模型，根据船舶动态信息计算未来发生碰撞的海域。但是OZT模型的解算是以最小安全会遇距离为半径的圆形为基础的，不能完全考虑《规则》中的避让责任问题，且在模型中，由于三角函数的范围约束，在很多情况下不能对会遇危险进行有效判断。

船舶领域作为用来描述船舶为了保持安全航行的状态下，不受危险物侵犯的安全水域，相比于最小安全会遇距离（MSPD）可以有效的满足船舶在海上航行时，各个方向上对安全距离不一致的要求。动界概念最早由英国学者Davis等人提出，是驾驶员为避免构成紧迫局面而采取行动时，本船与他船距离构成的超级领域。在此边界上，两船的碰撞危险度可以视为零，郑中义在考虑了ARPA 的误差和边界的模糊性，认为动界的范围约为船舶领域范围的2倍。随着船舶领域研究的深入发展，（还可以根据他的参考文献继续拓展）Szlapczynski【8】提出了一种新的碰撞危险度的计算方法。这种计算方法将侵入他船船舶领域作为会遇状况的一种，提出了考虑船舶运动的本船与目标船基于船舶领域模型位置最近时的目标船船舶领域的缩放尺度，当该尺度小于1时，说明本船已经或者将要侵入目标船的船舶领域，对目标船的安全航行产生了威胁，并基于这种概念提出了DDV degree of domain violation的概念。并提出了计算本船进入和离开与本船有会遇危险的目标船船舶领域的时刻，及两船存在碰撞危险的时间范围，并命名为TDV（Time to domain violation）。这种方式相比于DCPA与TCPA来说，运用了船舶领域的概念，考虑了各个方向上船舶的会遇安全距离不一致的特点，具有更强的敏感性，在一些情况下，这种优势更加明显，并且基于会遇危险时间范围，可以计算在未来有会遇危险的海域空间信息。基于他的研究方法，可以在某些方面进行改进或做更深一步的研究。在许多文章中，船舶领域都被定义为不可侵犯的航行安全实体边界，侵入他船船舶领域意味着存在很大的碰撞风险，在这方面，DDV采用线性的变化来描述侵入领域的危险代价的合理性有待讨论。采用合理的方式，基于领域侵入的时间范围与侵入程度，将未来与本船有会遇危险的海域空间的碰撞危险度进行计算。



综合其他学者的研究成果，本文通过运用船舶领域模型，并结合TDV与DDV的运算方法，改进碰撞危险度评估模型。本文主要进行了以下工作，1.在该计算方法中，引入动界和航迹线的概念，构建更合乎航行安全要求的碰撞危险度关键点位集合。2.基于TDV对多目标船会遇危险海域进行显示，并应用不同的GIS空间插值方法，讨论方法模型中参数的设置，生成多样化空间插值结果。3.利用对现有的基于DCPA/TCPA的传统成熟碰撞危险度计算生成评价点集合，通过相关性分析对插值结果进行评价选优。

1. 领域模型与插值点构建
2. 空间危险度插值方法与结果
3. 空间危险插值方法评价
4. 结论
5. 参考文献

UNCTAD, 2018. Review of Maritime Transport 2018. United Nations Publications, New York

天津水域水上交通事故统计分析和对策研究

海上船舶碰撞、搁浅危险监管方法研究的现状与展望

Computer program for collision avoidance and track keeping: Conference on mathematical aspects on marine traffic

船舶碰撞危险度的新模型

Automatic ship collision avoidance using deep reinforcement learning with LSTM in continuous action spaces

IMPROVEMENT OF THE ANTI-COLLISION METHOD "VELOCITY OBSTACLE" BY TAKING INTO CONSIDERATION THE DYNAMICS OF AN OPERATING VESSEL

Coldwell TG. Marine traffic behaviour in restricted waters [J]. Journal of

Navigation, 1983, 36: 431-444.

A Unified Measure Of Collision Risk Derived From The Concept Of A Ship Domain

ｃｏｍｐｕｔｅｒｓｉｍｕｌａｔｉｏｎｏｆｍａｒｉｔｉｍｅｔｒａｆｆｉｃ

ｕｓｉｎｇｄｏｍａｉｎｓａｎｄａｒｅｎａｓ