

华中科技大学

本科生毕业设计[论文]

船舶自动避碰模拟系统

院 系 计算机科学与技术

专业班级 1201 班

姓 名 王玉龙

学 号 0121212370329

指导教师 孙伟平

2015 年 9 月 27 日

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名: 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保障、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关学位论文管理部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权省级优秀学士论文评选机构将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于 1、保密□，在 年解密后适用本授权书

2、不保密口 ☐

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名: 年 月 日

导师签名: 年 月 日

摘 要

我国海洋资源丰富、领海广阔，船舶行业发展具有先天优势，极具发展前景。但是船舶间的碰撞，不仅会对社会造成巨大的经济损失，而且会威胁船员的生命安全，更会对海洋环境产生污染。计算机技术和人工智能技术的成熟，为推动我国船舶操控的数字化、自动化的发展提供了机遇，在船舶航行安全上可以有效降低船舶碰撞和船舶触礁事故发生率，维护我国海上航运秩序。避碰自动化系统的研发是目前业界十分关注的航海领域新兴科学技术，具有实际的研讨和应用价值。

因此，有必要研究有关船舶自动避碰模拟系统，解决在船舶航行中的避让问题。本文借助于 java 语言工具开发了一个自动避碰模拟系统，在考虑了现有技术的前提下，对船舶避碰的效果进行模拟，其中包含了避碰算法的研究。一般的避碰系统都是搭建数据库框架体系，将知识库存储到计算机上，通过检索数据库的资料来进行避碰决策，但在问题处理时互动性较差，难以处理复杂多变的船舶会遇避碰问题，而根据自动机识别理论，将其应用在船舶状态自动识别上，通过对船舶间状态的多层分析，提供决策依据，实现船舶自动避碰的效果。

经过对自动避碰模拟系统的设计，开发了一个模拟平台，在模拟平台上实现了避碰算法的展现，通过更改避碰算法，可以对避碰方法进行详细的研究，对船舶自动避碰的发展具有推进作用。

关键词：船舶自动避碰，自动机，避碰算法，避碰模拟

Abstract

Our country is rich in marine resources, vast territorial sea, the development of the shipbuilding industry has inherent advantages, very promising. But collision of ships, not only caused huge economic losses, and threaten the lives of the crew, even will pollute the marine environment. As computer technology and artificial intelligence technology matures, here offers opportunities to promote our country's ship digital manipulation and automation of ship, can reduce the collision of ships and rate of ship ran aground effectively about the safe navigation of ship, Maintain the order of the sea. Automated collision avoidance system is a new technology in the field of automatic navigation concerned by shipping industry, actual high value on research and applications.

Therefore, it is necessary to study the ship automatic collision avoidance simulation system, solve the problem of the sailing ship collision avoidance. With the aid of Java language tools in this article developed an automatic collision avoidance simulation system, considering the premise of existing technology and simulate the ship collision avoidance, which contains the study of collision avoidance algorithm. General collision avoidance system is to build the database framework, knowledge storage to the computer, by searching the database for collision avoidance decision, but in dealing with the issue interaction is poor, it is difficult to deal with complex of ship collision avoidance problem, and according to the theory of automatic machine recognition, its application in ship automatic identification, through the analysis of multilayer on the ship of state, to provide basis for decision making, to achieve the effect of ship automatic collision avoidance.

Through the design of automatic collision avoidance simulation system developed a simulation platform, simulation platform demonstrate the collision avoidance algorithm in a good effect, by changing the collision avoidance algorithm, can have a detailed study of the collision avoidance methods and the development of ship automatic collision avoidance has role in promoting.

Keywords: Ship automatic collision avoidance, Automaton, Collision avoidance algorithm, Collision simulation

目录

摘 要	3
Abstract	4
目录	5
1 绪言	6
1.1 背景和意义	6
1.2 研究现状	7
1.3 本文研究的内容	7
2 船舶避碰相关知识介绍	9
2.1 船舶自动识别系统	9
2.2 全球定位系统	9
2.3 国际海上避碰规则简介	10
2.4 本章小结	10
3 船舶自动避碰模拟软件的设计	11
3.1 软件综述	11
3.2 软件设计	12
3.2.1 概要设计和详细设计	12
3.2.2 系统实现及软件运行效果	17
3.3 本章小结	26
4 避碰算法的研究	27
4.1 避碰基本理论和数学方法	27
4.2 自动机理论	29
4.3 本文所采用的避碰模型	30
4.4 本章小结	33
5 总结与展望	34
致谢	35
参考文献	36

1 绪言

1.1 背景和意义

随着全球经济贸易飞快发展、全球海运船队规模不断扩大，海上船舶交通越发繁忙，港口、航道及其附近区域船舶航行密度极度增加，导致船舶碰撞事故屡屡发生；计算机技术的不断发展，也使得现代海洋技术不断更新，当水面无人艇正式应用于美国海军的时候，无人艇已被全世界公认为必将在未来的各种海洋领域活动中扮演着不可或缺的角色，当然少不了船舶自动化技术的发展，其中自动避碰就是其中的一个难点；虽然自动化技术早已应用于航运业的发展中，但是船队的数量不断增加，船舶向大型化和快速化的发展也很迅速，船舶的运营成本也在不断的提高，由于船员数量的减少而导致船员人均工作量增加了很多，这所有的一切都令船舶避碰问题越发的突显了。由于以上原因，船舶自动避碰是一个必须解决的课题，避碰技术的发展会对航运业产生深远的影响。

船舶的自动化航行主要由航迹保持自动化、航向控制自动化以及船舶避碰自动化三个方面组成，相对前两者，后者的发展相对滞后，自动避碰研究还较为落后，跟不上当今大航海时代背景下对于航行自动化较高安全系数的要求，船舶的碰撞，不仅会对航运和货主带来经济损失，还会由此造成人员的伤亡、海洋环境的污染，所以现代自动化船舶的避碰研究是一个急需解决的课题。自动避碰主要的难题是避碰分析的算法，应用到船舶上的避碰方法必须是稳定的且可靠的，所以现阶段仍处于慢速发展阶段，因此，有一个高效的避碰效果验证工具也是十分重要的，避碰模拟器正是充当这个角色的绝佳方法，通过避碰模拟可以很快的看到避碰策略的避碰效果，根据结果进而调整避碰策略，自动化避碰模拟系统就是研究船舶自动化性能的助推器。

目前，两船避碰问题的理论和技术已经很成熟，而且对多船避碰问题也有了较多的研究成果，但是相比实际情况，还存在差距，需要进一步的提高和完善^[2]，因此，利用几何数学的基本理论分析复杂多变的船舶与本船的会遇状态对自动避碰的发展及其重要。当本船与他船会遇时，分析本船与他船的会遇距离，方位，最短会遇距离 DCPA (distance of Closest Point of Approach) 和最短会遇时间 TCPA (Time to Closest Point of Approach)，从而得到空间转向变速的最优解。对自动避碰的研究不仅可以运用到船舶运输行业，在其他领域也有重要的应用，所以，发展自动避碰

的新技术是当前及其重要的任务。

1.2 研究现状

船舶自动化的发展带动了智能避碰的飞跃，经历了由低级到高级、简单到复杂的演变，随着现代船舶航行安全要求的提高、船舶大型化的发展，对船舶避碰提出了新的要求。船舶自动避碰的研究主要有：自动避碰策略的研究，自动避碰系统框架的设计，自动避碰仿真模拟系统的开发。

一些西方国家早就开始了对避碰策略的研究，起初，他们将几何的原理和方法应用到避碰上，并且制订了避碰规则，接着，又有人从船舶的特征和表现形式方面分析了船舶碰撞危险，加入了对碰撞的预测，在此基础上进一步为完善危险度参数的可靠性和避碰规则，目前，无论是在自动避碰的理论还是实际应用操作上都已经达到了一定的水准。避碰自动化系统相当于一个数据处理器，它由四个部分组成：网络信息系统、数据库、通信系统、雷达系统，避碰系统的研究是将多种船上设备所获取的信息进行分析和信息共享、信息融合，对船舶间会遇态势做出分析，判断碰撞危险度，最终决定避碰方案^[9]，比如一些研究人员采用避碰知识库管理系统，通过建立数据库来进行船舶会遇态势的匹配，进而检索出在该情况下应做出什么动作进行避碰。避碰仿真的研究是从避碰中概念性的规则开始的，后来发展成为对一些概念进行量化计算，很多学者利用仿真平台对船舶自动化进行研究，利用经典数学工具进行建模，经过多年发展，在该领域已有一些代表性的研究成果，练习船“沙路丸”上的避碰系统、船舶避碰专家系统、船舶自动避碰算法仿真测试平台，这些仿真系统各有优缺点。

总结前人的研究，在自动避碰的研究中主要考虑人为因素、环境因素和船舶的因素，采用了专家系统、模糊算法、动态数据库等方法技术，已经有了不小的成就，随着科学技术的飞速发展，航海运输业的迫切需要，避碰实践经验的不断积累，船舶避碰研究无论是在硬件上还是在软件上都会有长足的进展，一方面制定避碰规则和强化交通管理，另一方面为自动避碰寻求新的解决方案，这才会为船舶自动化的持续发展注入新的动力。

1.3 本文研究的内容

本文的研究是假定船舶处在 AIS 技术环境下进行的自动避碰，主要描述了作者制作的船舶避碰模拟软件的设计过程以及对船舶自动避碰算法研究。

一艘船舶航行在大洋上,会受到风浪流的影响,并不会按照船舶的航向航行,而是会有一定的偏航角度,同时,由于每艘船舶的结构、性能、方型系数等参数的不同,会在操纵中表现出较大的行动差异,但是本文为了简化设计过程,只做出了一个初具功能的船舶自动避碰模拟软件,用于展示自动避碰算法在该平台上的研究成果。

接下来首先会在第二章中引入船舶自动避碰相关技术的详细介绍,随后在第三章详述前文所说自动避碰模拟软件的详细设计过程,在第四章论述本文所研究的自动避碰算法。

2 船舶避碰相关知识介绍

2.1 船舶自动识别系统

船舶自动识别系统（Automatic Identification System, 简称 AIS 系统）由岸基（基站）设施和船载设备共同组成，是一种新型的集网络技术、现代通讯技术、计算机技术、电子信息显示技术为一体的数字助航系统和设备。AIS 技术的发展为船舶避碰提供了更好的平台，航行在大洋或港口附近的船舶通过在通信信道上接收周边船舶广播的静态和动态信息或广播自己的船舶信息，使得每艘船舶都能够清楚地知道周边交通环境，从而做出对应的行动防止交通事故的发生，同时便于交通管理部门的管理，有效得提高了交通系统的效率，对船舶自动化发展非常有帮助。

该系统能连续向其他船舶和基站发送数据，将识别码、船位、航向、航速、船舶基本参数和货物信息等传递给其他船舶或岸上的接收机。AIS 的优点是信息准确度高、近乎实时的信息提供以及能瞬时显示目标航向的变更，另外，AIS 还能在电子海图和信息系统上实时跟踪所有配置 AIS 的船舶，了解航道中的弯段后面或列岛中岛屿的后面，以搜索到其他船舶的存在并识别它们，在河流或列岛中，预测与其他船舶相遇的准确位置，了解船舶驶向哪个港口和港湾，了解附近地区航行的船舶尺度和吃水，近乎实时地监测到船舶航线的改变，识别河流中离开岸堤的渡船等。AIS 系统的应用与实施部署，提高了海事监管水平，提升了海上搜救和应急反应的能力，为海事调查取证、海上搜救、治理污染争取了时间，减少了损失。各海区还利用 AIS 完成船舶流量统计图，有力地支持了各级海事部门的工作。

2.2 全球定位系统

全球定位系统（Global Positioning System, 简称 GPS），又称全球卫星定位系统，是一个中距离圆型轨道卫星导航系统。它可以为地球表面绝大部分地区（98%）提供准确的定位、测速和高精度的时间标准。系统由美国国防部研制和维护，可满足位于全球任何地方或近地空间的军事用户连续精确的确定三维位置、三维运动和时间的需要。

该系统包括太空中的 24 颗 GPS 卫星；地面上的 1 个主控站、3 个数据注入站和 5 个监测站及作为用户端的 GPS 接收机。最少只需其中 3 颗卫星，就能迅速确定用户端在地球上所处的位置及海拔高度；所能收联接到的卫星数越多，解码出来的位置就越精确。

GPS 系统具有全天候，不受任何天气的影响、全球覆盖（高达 98%）、三维定位、高精度、快速、省时、高效率、应用广泛、多功能、可移动定位的优点，同时不同于双星定位系统，使用过程中接收机不需要发出任何信号增加了隐蔽性，提高了其军事应用效能。所以，GPS 广泛应用于各个领域，尤其是在交通行业，极大的促进它的发展。

2.3 国际海上避碰规则简介

《国际海上避碰规则》(Convention on the International Regulation for the preventing Collision at Sea)原是政府间海事协商组织制定的《国际海上人命安全公约》1948 年文本的第 2 附件，1972 年修改后成为《1972 年国际海上避碰规则公约》的附件。它是为确保船舶航行安全，预防和减少船舶碰撞，规定在公海和连接于公海的一切通航水域共同遵守的海上交通规则。

该规则规定凡船舶及水上飞机在公海及与其相连可以通航海船的水域，除在港口、河流实施地方性的规则外，都应遵守该规则。规则主要是有关定义、号灯及标记、驾驶及航行规则等。规则对船舶悬挂的号灯、号型及发出的号声，在航船舶自应悬挂的号灯的位置和颜色，锚泊的船舶悬挂号灯的位置和颜色，失去控制的船舶必须使用的号灯和号型表示，船舶在雾中航行以及驾驶规则等，都作了详细的规定。

规则的第二章是驾驶和航行规则，指导船舶驾驶员在特定的环境下进行避碰操作，包括在任何能见度下的行动规则、船舶在互见中的行动规则和船舶在能见度不良时的行动规则，海员在规则规定的海域内驾驶船舶时必须遵守国际海上避碰规则，保证海上交通环境的畅通，达到减少碰撞危险和提高交通效率的目的。

2.4 本章小结

在本章中介绍了部分相关的避碰技术和知识，是船舶自动避碰发展中必不可少的一部分，除了 AIS 系统和 GPS 系统，还有电子海图系统，现代的船舶将多者相互融合，在电子海图上显示 AIS 系统中的船舶信息，可以很好的将船舶的所有信息展现在一个平台上，这是技术发展的重大进步，在本章最后，还介绍了国际海上避碰规则，它是海员驾驶船舶进行避碰的参考依据，也为船舶自动避碰交通系统的研究打下了坚实的基础。

3 船舶自动避碰模拟软件的设计

3.1 软件综述

本软件采用面向对象的 java 语言编写，一方面 java 语言面向对象的特点使得这个模拟器易于设计并且修改方便，易于以后加入新的功能，另一方面其较好的跨平台可移植性、优秀的网络支持性使得软件更具有发展潜力。

软件由图像显示部分、我船信息信息显示、障碍物信息显示、避碰计算参数显示、控制按钮面板五大部分组成。软件运行时自动生成我船图像并可以根据需要修改我船的航行参数，接着可以加入避碰的障碍物，由软件系统计算各个对象的参数并显示在避碰参数显示面板上，由于图像显示界面有限，所以在此软件中，我船或障碍物在遇到边界时会自动反弹而不认为是碰撞，同时规定，障碍物之间不进行避碰，图像可以重叠，主要是演示我船对障碍物之间的避碰效果，

在软件中，Ship 类代表我船对象，Obstacle 类代表生成的障碍物对象，两者都有警戒圈和方向线的显示，便于观察避碰的动向；由横纵坐标（x，y）代表实际船舶的经纬度，实际位置数据由 GPS 提供；船舶和障碍物的属性信息有名称、位置、速度和方向，软件中信息的传递代表实际 AIS 系统的运行效果，可以在不同的对象之间交互数据信息。

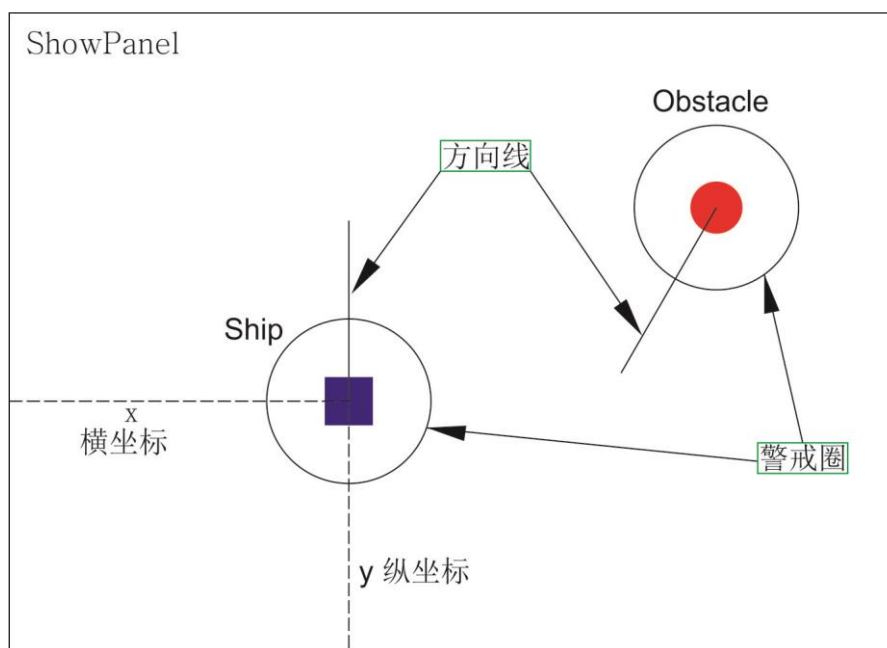


图 3.1 图形界面示意图

3.2 软件设计

3.2.1 概要设计和详细设计

在面向对象思想的指导下对本软件进行设计，软件所要完成功能有船舶绘制和自动前进，船舶的转向和变速动作，能够通过按钮控制障碍物的产生与消除，在显示面板上显示船舶和生成的障碍物图形，并在其他面板上显示障碍物参数和计算后避碰的参数，要完成这些功能，首先要进行总体结构设计，完成对软件总体结构的构建。

在本软件中的对象有船舶、障碍物、各种显示面板、按钮，所以在软件中主要定义以下几个类：

- 1、Ship 类，完成 Ship 对象的图形绘制、转向、变速功能，以及后续的避碰策略部分；
- 2、Obstacle 类，完成障碍物的图像绘制、转向、变速；
- 3、ShowPanel 类，实现船舶和障碍物在面板上的显示；
- 4、Controller 类，作为各个组件的控制器，收集 Ship、Obstacle 对象的信息，传递给显示面板进行显示；
- 5、Simulate 类，将各个组件在这个类中进行拼装，形成一个完整的系统，显示主面板，调用各个子程序，协调系统的运行；
- 6、其他类，实现软件的其他功能以及辅助的数据处理功能；

根据以上对象和要完成的功能得出部分对象模型：

表 3.1 Ship 和 Obstacle 对象模型

Ship	Obstacle
-name:String -x:int -y:int -v:double -c:double	-name:String -x:int -y:int -v:double -c:double
+ChangeParameter():void +goAhead():void +ChangeDirection():void +ChangeSpeed():void	+ChangeDirection():void +ChangeParameter():void +DrawMe():void

+DrawMe():void +Action():void	
----------------------------------	--

表 3.2 ShowPanel 和 ObstacleFactory 对象模型

ShowPanel	ObstacleFactory
-ship:Ship -obstacle:Obstacle	
+Display():void	+Create():void +Delete():void

由 ObstacleFactory 产生 Obstacle 对象，并显示在显示面板上，在程序运行时首先产生 Ship 图形并自动运动，Ship 和 Obstacle 对象在向前前进时触发 Controller 里对显示面板的方法，使其控制 ShowPanel 类进行刷显示，从而形成动画，具体参见图 3.2。

对象模型的建立为程序设计奠定了基础，在对象之间会进行数据处理与传递，数据源是 Ship 和 Obstacle 对象的实例，数据的处理是为了计算避碰所需的参数，同时实时显示参数的变化，根据计算结果进行对 Ship 对象的操纵，从而实现避碰效果，下面图 3.3 是软件的数据流图。

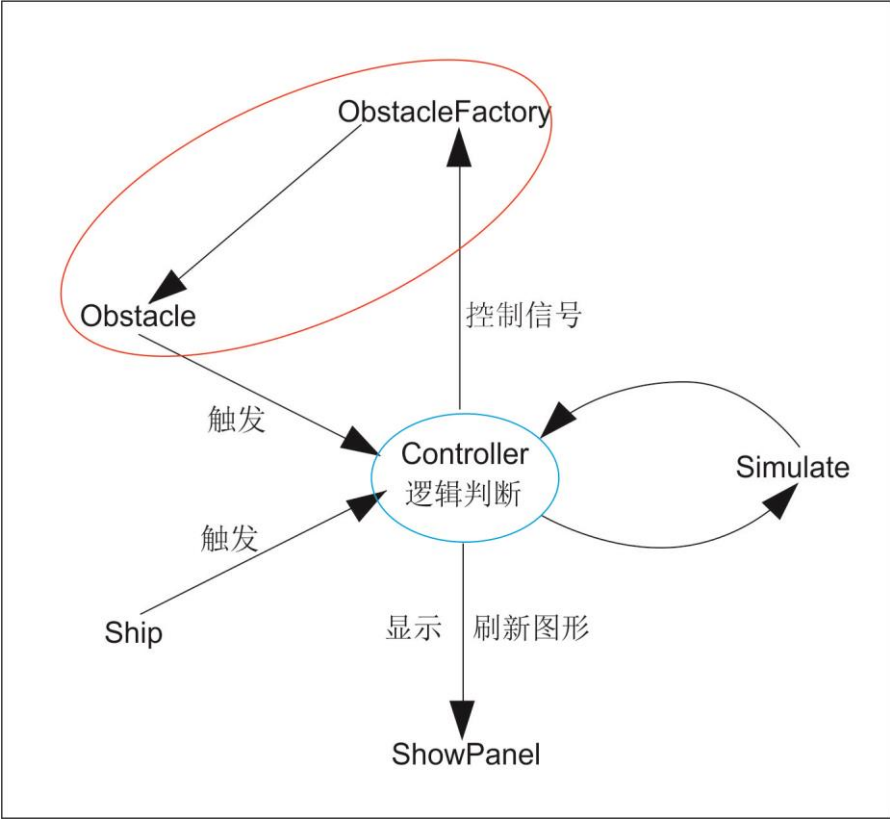


图 3.2 各个类之间的关系

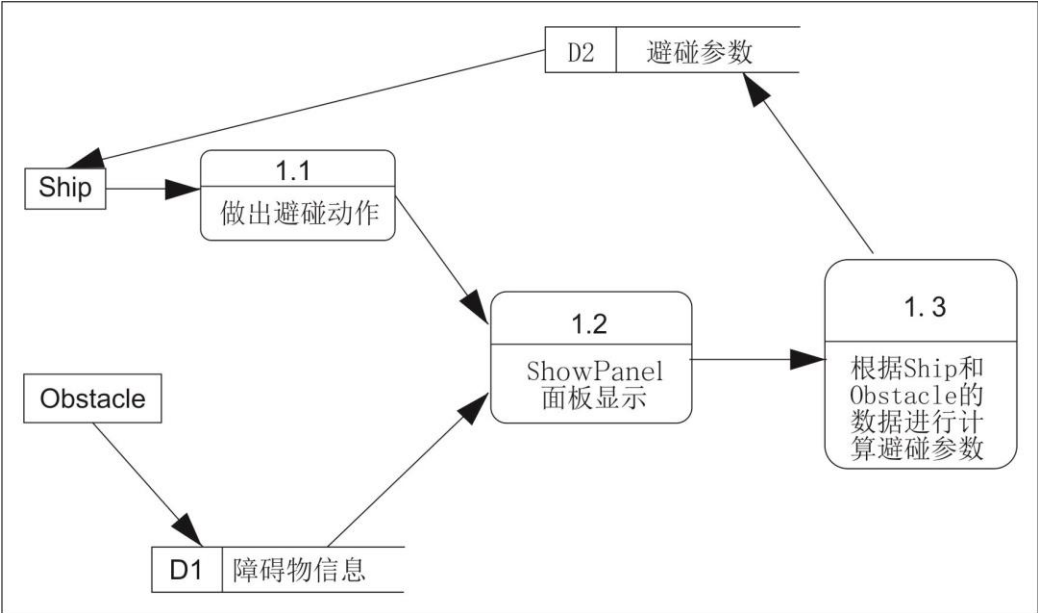


图 3.3 数据流图

上图反映了本软件的数据流路径，但是不能表达出程序在运行过程中执行先后的顺序结构，根据脚本对实际使用该软件的过程进行表示，事件跟踪图

可以很好的看出事件与对象之间的关系，下面是事件跟踪图：

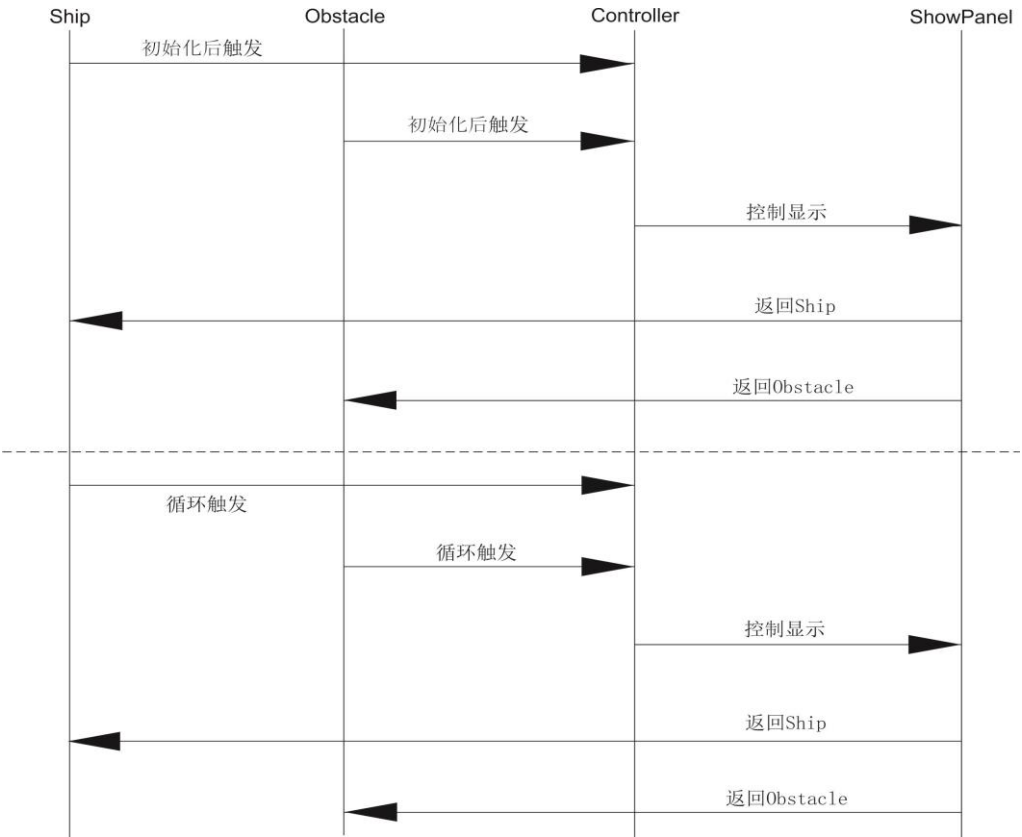


图 3.4 事件跟踪图

状态转换图反映的是软件交互过程中状态的变化，是面向对象建模的动态模型，下面图 3.5 是对本软件建立的动态模型，程序开始后就创建一个船舶新线程，而后每当创建一个障碍物对象时就新建一个线程，同时计算并存储对象的运动参数，以提供船舶避碰的依据。

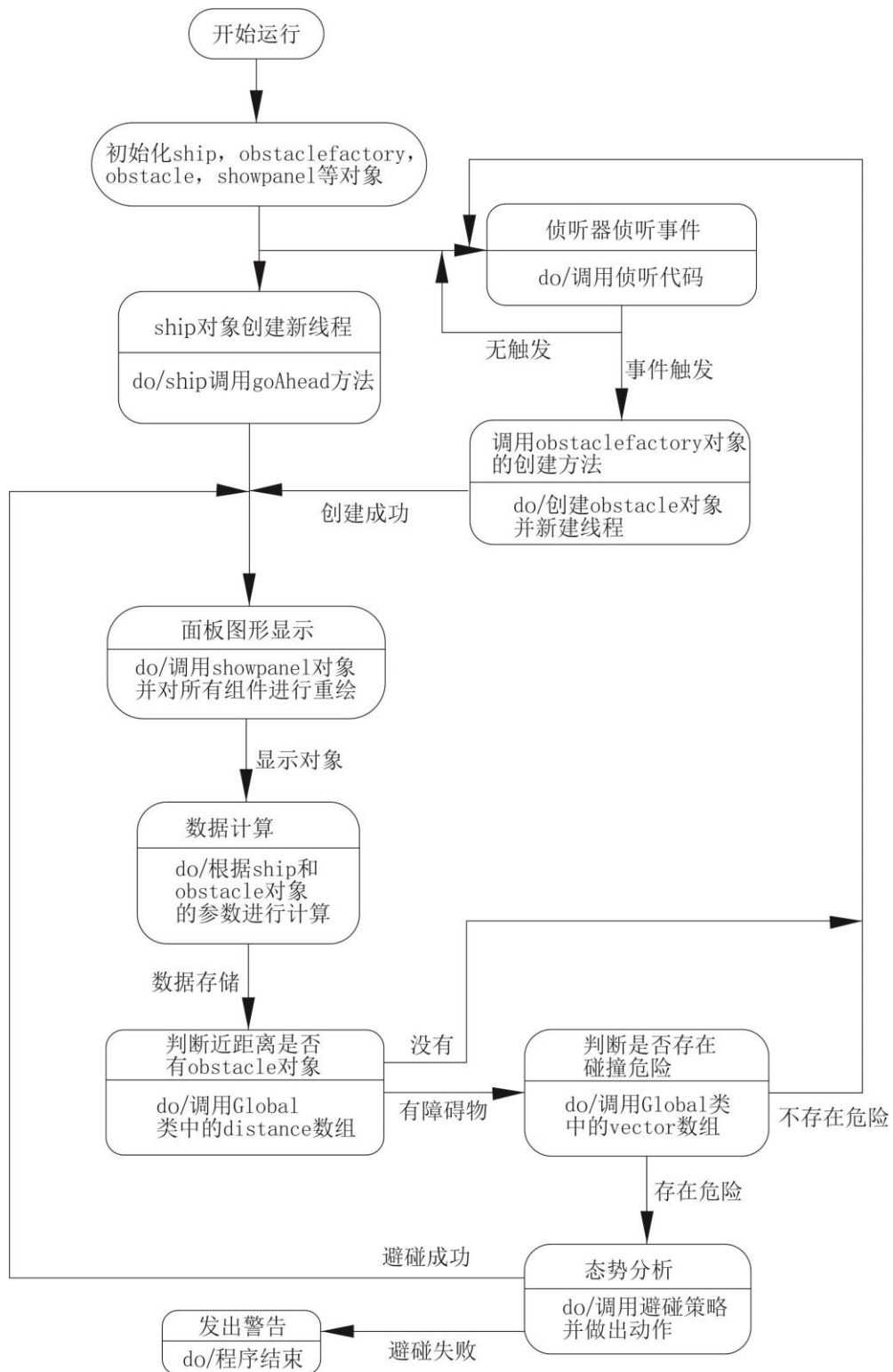


图 3.5 状态转换图

软件的分析 and 设计过程及其重要，尤其在大型软件的编写过程中，前期的设计缺陷可能会导致软件制作后期的大幅度修改，造成资源浪费。至此，本文

所设计的船舶自动避碰模拟系统的设计已经基本完成。

3.2.2 系统实现及软件运行效果

1、Ship 类

要对避碰进行模拟，首先必须创建船舶对象，船舶拥有自己的名字、地理位置、速度和航向，在这里使用一个字符串存储船舶对象的名字，用坐标系的 x、y 值表示其位置，速度和航向用 double 型变量 v 和 c 表示，在 Ship 类中定义：

```
private String name;
private int x,y;
private double v,c;
```

同时，在避碰时需要对 ship 实例进行转向和变速操作，所以在 Ship 类中还应定义 ChangeDirection() 和 ChangeSpeed() 方法。在这里使用 360° 方向角，顺时针旋转为增大角度，逆时针为减小角度，并且在转向过程中判断角度是否在正确的范围内，相关代码如下：

```
public void ChangeDirection(double gradirection){
    oldc=this.c;
    this.c+=gradirection;
    newc=this.c;
    while(this.c>=360){//多次检测，直至范围在 0-360 之间
        if(this.c>=360) this.c-=360;
        else break;
    }
    while(this.c<0){
        if(this.c<0) this.c+=360;
        else break;
    }
}
```

当初始化完成 ship 对象时，ship 就会开启一个线程，在此线程中用死循环实现 ship 对象的连续前进，代码如下：

```
public class ShipDriver implements Runnable{
```

```

double gra=10;
@Override
public void run() {
while(true) { //条件判断是否遇到障碍物或者到达边界
goAhead();    if(Ship.this.x<=5||Ship.this.x>=Global.ShowWidth-
5
||Ship.this.y<=5||Ship.this.y>=Global.ShowHeight-5)
Global.shipreflect(Ship.this); //边界转向, 5px 边界
Showpanel.Display(Ship.this);
Action(gra);
try {
    Thread.sleep(1000); //Thread.sleep() 是静态方法 }
catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();}
} //while 死循环
} //run 方法
} //实现 Runnable 接口

```

在显示面板中绘制 ship 对象的图形也需要在 Ship 类中定义，部分绘制 ship 对象图形代码：

```

int gsx=this.x-Global.ShipRadius,gsy=this.y-Global.ShipRadius;
shipg.drawRect(gsx,gsy,2*Global.ShipRadius,2*Global.ShipRadius);
shipg.fillRect(gsx,gsy,2*Global.ShipRadius,2*Global.ShipRadius);
shipg.drawOval(this.x-
Global.DangerRadius,this.yGlobal.DangerRadius,2*Global.DangerRadiu
s,2*Global.DangerRadius); //计算方向线的末端坐标, 末端坐标
int glx=(int) (this.x+Global.CourseLine*Math.sin(c*Math.PI/180));
int gly=(int) (this.y-Global.CourseLine*Math.cos(c*Math.PI/180));
shipg.drawLine(this.x, this.y, glx, gly);

```

2、Obstacle 类

这个类与 Ship 类相似，具有相同的变量和类似的方法，这里就不再赘述

了。

3、ObstacleFactory 类

这个类是用来产生和消除 obstacle 对象的，所以有两个方法，Create() 和 Delete() 方法，下面是产生障碍物方法的代码：

```
public void Create(String name,int x,int y,double v, double c,
MyListener l){
    System.out.println("create a new obstacle ");
    Obstacle newobstacle=new Obstacle(name,x,y,v,c,l);
    Global.index[Global.Number++]=newobstacle;
    Return newobstacle;
}
```

4、Controller 类

该类是对象图形显示和触发侦听实现方法的类，这个类中实现了创建障碍物对象按钮的侦听事件动作和对信息面板的刷新方法，当 ship 实例前进一次就调用一次 Controller 实例，以实现显示面板的刷新，Controller 实际上是程序主要的逻辑控制部分，下面是实现刷新面板信息的部分代码：

```
public void ShipMoved(Ship ship){
    showpanel.Display(ship, obstacle);
    shipFresh();          obsFresh();          Global.caculated();
}
```

其中 shipFresh() 和 obsFresh() 是船舶和障碍物数据显示到信息面板上的实现方法。

在处理由用户输入的位置字符串时，需将” x,y” 中的横纵坐标分离，在此处采取了 Scanner 类型的数据处理方法：

```
Scanner scanner1=new Scanner(sim.getcreate().getnewp());
scanner1.useDelimiter(",");//设置分隔符
while(scanner1.hasNext()){
    if(scanner1.hasNextInt())
        temp1[i1++]=scanner1.nextInt();
}
```

5、ShowPanel 类

ShowPanel 类实现对图形的显示，每一次 ship 和 obstacle 前进一步后，都会调用 showpanel 实例进行重绘，实现刷新操作，从而实现 ship 和 obstacle 对象在显示面板上的动画。下面是重写 paintComponent() 方法的代码：

```
protected void paintComponent(Graphics g) {
    super.paintComponent(g);
    g.setColor(Color.WHITE);
    g.fillRect(0, 0, Global.ShowWidth, Global.ShowHeight);
    if(ship!=null){
        ship.DrawMe(g);
    }
    if(obstacle!=null){//ship 一定存在，障碍物可能不存在
        obstacle.DrawMe(g);
    }
}
```

6、Global 类

在 Global 中，存储了全局变量，包括产生的障碍物信息，存储在 index[] 数组内，还有计算得到的距离结果，存储在 distance[] 数组，相对真方位信息在 course[] 数组，相对矢量放在 vector[] 数组内等等，将这些全局变量会定期的进行重新计算和存储更新，相当于后台数据库，供避碰分析所用，以下是部分代码：

```
public static Obstacle index[];//存储产生的障碍物对象
public static double distance[];//相对距离
public static double course[];//真方位
public static double vector[][];//先 vr，后 vc
public static double DCPA[];//最短会遇距离
public static double TCPA[];//最短会遇时间
```

在这个类中也完成了船舶和障碍物在边界时的反射动作方法，下面的代码是 ship 实例的反射方法，obstacle 实例与其类似：

```
if(ship.getx()>=ship.gety()&&ShowWidth-ship.getx()>=ship.gety()){
```

```

if(ship.getc()>=0&&ship.getc()<=90)//判断方向范围
    ship.ChangeDirection(180-2*ship.getc());
if(ship.getc()>=270&&ship.getc()<360)
    ship.ChangeDirection(540-2*ship.getc());}
if(ship.getx()<=ship.gety()&&ship.getx()>=ShowWidth-ship.gety()){
    if(ship.getc()>=90&&ship.getc()<=180)
        ship.ChangeDirection(180-2*ship.getc());
    if(ship.getc()>180&&ship.getc()<=270)
        ship.ChangeDirection(540-2*ship.getc());}
if(ship.getx()>ship.gety()&&ship.gety()>ShowWidth-ship.getx()){
    if(ship.getc()>=0&&ship.getc()<=90)
        ship.ChangeDirection(-2*ship.getc());
    if(ship.getc()>90&&ship.getc()<180)
        ship.ChangeDirection(360-2*ship.getc());}
if(ship.getx()<ship.gety()&&ship.getx()<ShowWidth-ship.gety()){
    if(ship.getc()>180&&ship.getc()<=270)
        ship.ChangeDirection(720-2*ship.getc());
    if(ship.getc()>270&&ship.getc()<360)
        ship.ChangeDirection(360-2*ship.getc());}

```

假定对象出事方向为 c ，列举对象在四个边界的反射情况，每个边界有两种情况，分析后发现，上下反射情况相同，左右相同，可求出前后的角度变化，下面是实现该方法的图示：

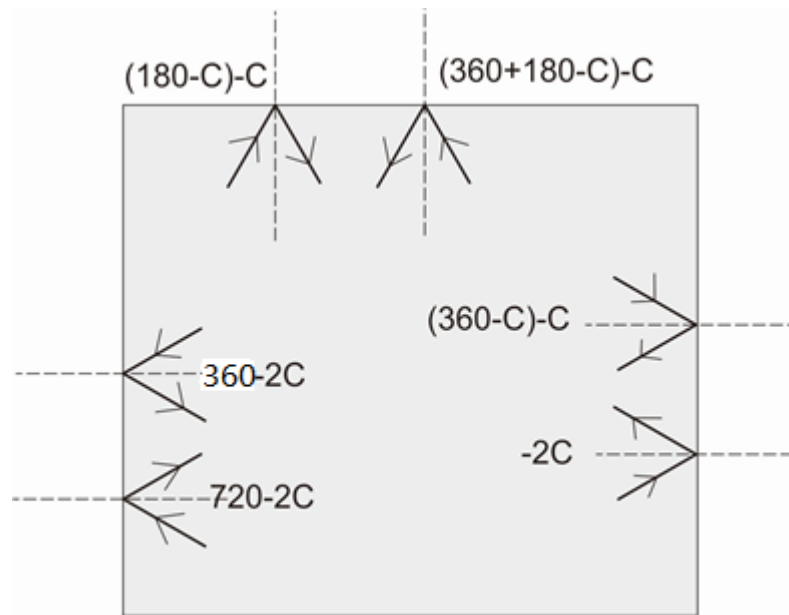


图 3.6 对象遇到边界反射图示

7、系统试运行

系统的实现以上边的主类为基础，实现整个软件系统的运行，在界面设计上我采用左右两部分，左部分显示图形界面，会在程序运行时出现 ship 实例和 obstacle 实例的图形，并且会自动运动，右部分显示障碍物信息以及计算所得的避碰参数，在界面左下角是本船的信息，可显示本船运动的坐标位置，速度、方向以及当前正在做的动作，右下角控制按钮，控制产生障碍物以及删除障碍物，效果图如图 3.7 所示。

当点击 Change MyParameter 后弹出改变本船参数的面板，如果不输入任何数据，点击 Change 按钮后不做任何变化，要想改变本船的参数可以输入想要改变的参数，如图中所示，名称：myship，位置 x: 145, y: 45，速度：5，航向： 30° ，显示界面如图 3.8 所示。

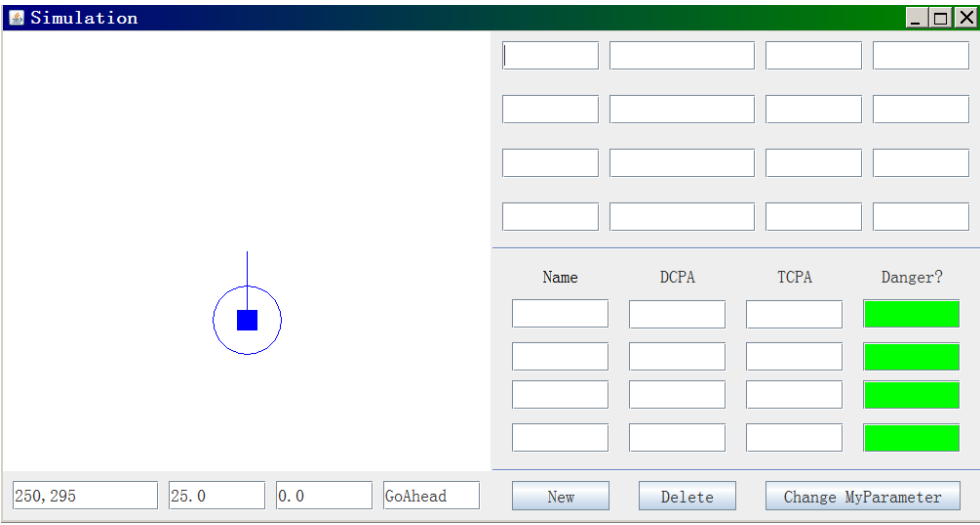


图 3.7 系统运行界面

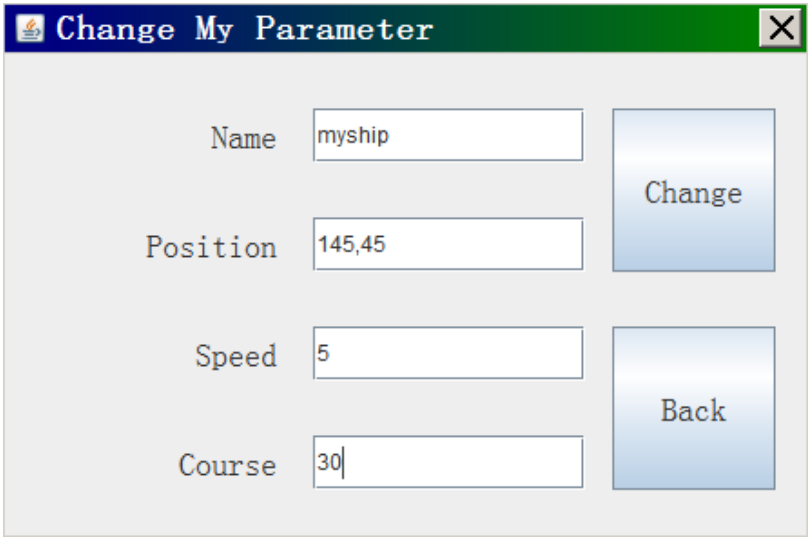


图 3.8 改变本船参数的弹出面板

如果点击 Back 按钮，即意味着将放弃本次操作，返回主界面。点击 Change 按钮后船舶的显示图形发生改变，同时参数面板关闭，显示在面板上的图形发生改变，本船的信息面板上显示的本船的相关信息也跟着改变，具体的变化如下图所示。

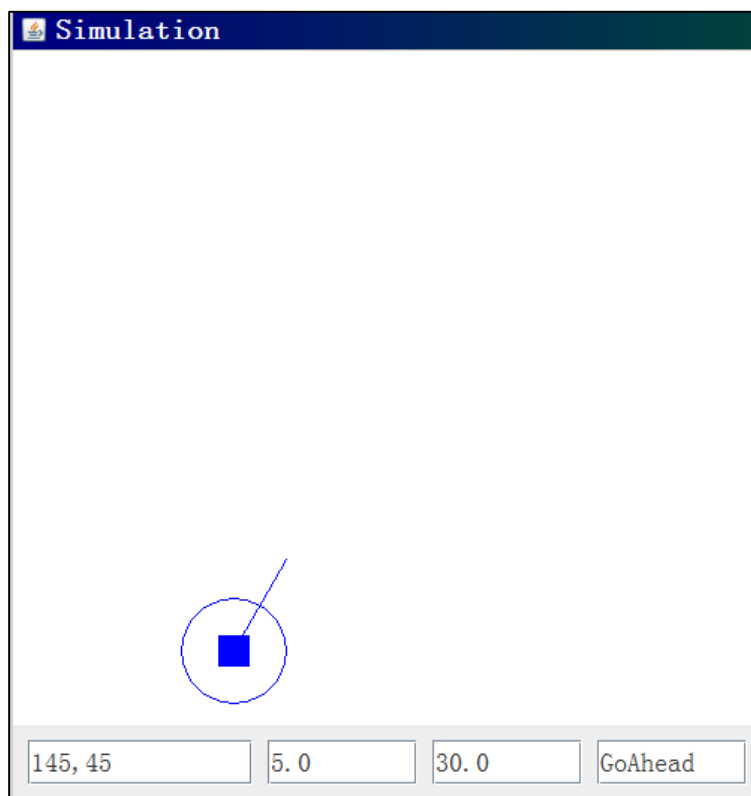


图 3.9 改变参数后船舶的图形显示

New 按钮是产生障碍的控制按钮，点击后在弹出面板上输入障碍物的信息，障碍物名称 obs，位置 $x=120$ ， $y=45$ ；速度 5，航向 20，具体的参数设置如下图所示：

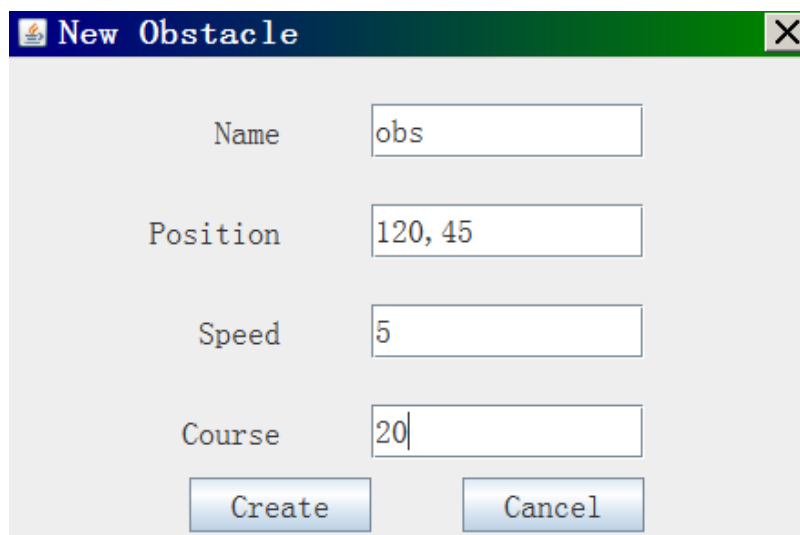


图 3.10 创建新的障碍物图形信息面板

点击 Create 按钮，即可在现实界面上绘制出一个障碍物，并且自动按照

预定信息进行运动，创建好后的图形界面如下图 3.11 所示：

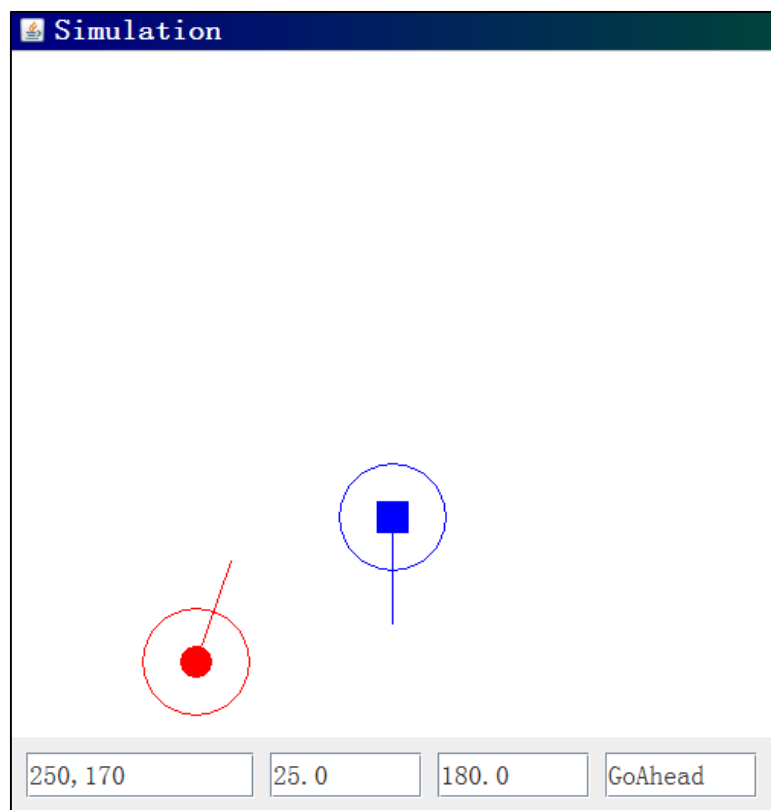


图 3.11 创建障碍物后的显示面板

如果有需要，可以继续点击 New 按钮创建新的障碍物，障碍物的信息会在面板的右侧显示，计算得到的避碰参数也相应的会随之更新。软件中当然也可以实现对障碍物的删除操作，点击 Delete 按钮后，弹出输入窗，可以输入需要删除的障碍物名称，实现对障碍物的删除操作，下图是功能实现的界面。

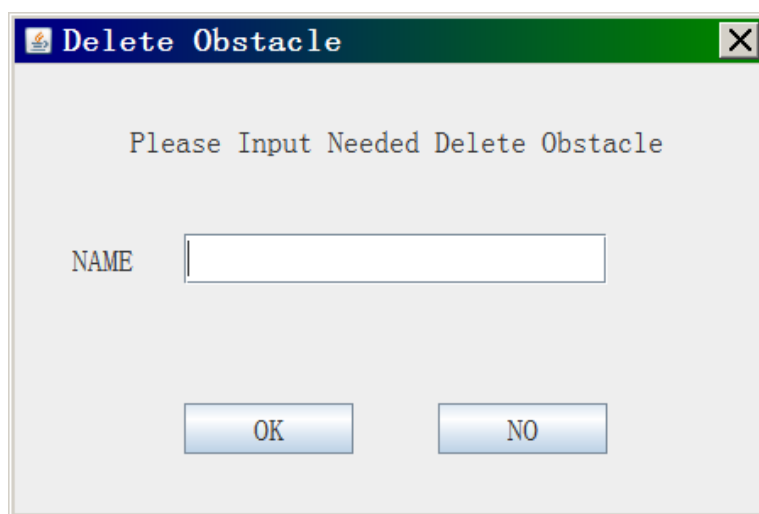


图 3.12 删除障碍物的弹出窗口

本船和障碍物在显示面板中进行自动运动，在对遇局面时分析数据进行自动避碰，实现对避碰算法效果的直观显示。

3.3 本章小结

在本章中详细说明了本文所讲自动避碰模拟软件的设计过程，以及软件的运行情况。java 是面向对象的语言，有其优点，在软件的编写过程中，对于解决各种问题给出了相关的代码段，本软件在设计上存在很多问题，需要更多的修改，比如界面图形太大，不利于显示太多的图形进行模拟，速度的不易控制也会为避碰的模拟带来不可靠的因素，应当在其中加入更完善的功能和模拟效果，实现本软件的最终目标。

4 避碰算法的研究

4.1 避碰基本理论和数学方法

一般情况下，在开阔水域、船舶常速航行时，可以将船舶碰撞全过程划分为四个阶段。第一个阶段为无碰撞危险阶段；第二个阶段为有碰撞危险阶段；第三个阶段为紧迫危险阶段；第四个阶段为船舶碰撞。这四个阶段循序渐进，上一阶段为下一阶段的先导阶段，上一阶段的形成是下一阶段的形成条件，无碰撞阶段船舶可以自由活动不受规则约束，碰撞危险阶段是两船接近到一定距离时产生可能碰撞的危险，船舶应按照规定行动，紧迫危险阶段是两船不得不大幅度动作，协调避碰，船舶碰撞阶段即为两船避碰失败，发生碰撞事件。

两船会遇时，可根据两船的相对速度和方位进行态势划分，假设他船相对本船的来舷角为 θ ，在本文中将会遇局面划分为以下几种情况：

- A $354^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$ 或 $0^\circ < \theta \leq 6^\circ$ ，对遇
- B $6^\circ < \theta < 67.5^\circ$ ，右舷小角度交叉相遇
- C $67.5^\circ < \theta < 112.5^\circ$ ，右舷大角度交叉相遇
- D $112.5^\circ < \theta < 247.5^\circ$ ，追越
- E $247.5^\circ < \theta < 354^\circ$ ，左舷交叉相遇

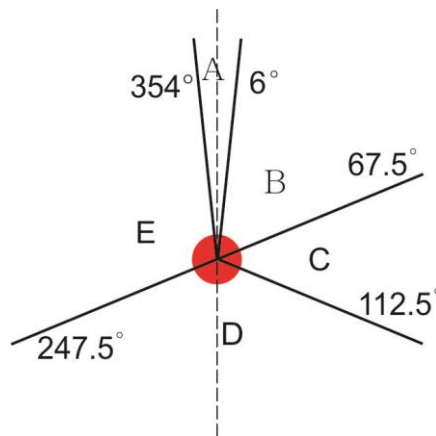


图 4.1 船舶态势划分图

船舶在避碰的过程中通常需要进行以下几步进行对避碰的分析决策和避碰动作：

- (1) 信息采集，确定来船的航速、航向、坐标等关键参数，这是通过 AIS

系统获取周边船舶信息，为分析提供数据依据；

(2) 根据来船运动信息及本船及本船所在的具体环境情况确定安全通过距离，来船相对于本船的方位、来船的航速、航向、本船的吨位及其航行状态、行驶海域的风、浪、流等因素，都影响着船舶间避让的及时性，所以应当根据当时多种影响因素确定避让依据；

(3) 计算并判断与来船是否存在碰撞危险，根据对周边船舶和环境信息的收集，对这些数据进行分析计算，得出避碰结论，指导船舶航行动作；

(4) 根据避碰责任采取避碰决策，根据国际海上交通规则进行协调避碰，遵循同一规则可以使船舶避碰更有效；

在船舶行动规则的理论指导下，需要数学工具对避碰时数据的分析提供定量化的指导，需要进行避碰参数的计算。

在本文中，船舶的运动信息是有 AIS、GPS 提供的，根据这些数据来进行计算。假设本船船速为 V_0 ，航向为 Ψ_0 ，船位 (X_0, Y_0) ，他船航速为 V_1 ，航向为 Ψ_1 ，船位 (X_1, Y_1) ，他船相对于本船的方位为 Ψ_T ，距离为 R_T ，相对航向为 V_R ，相对真方位为 θ 。

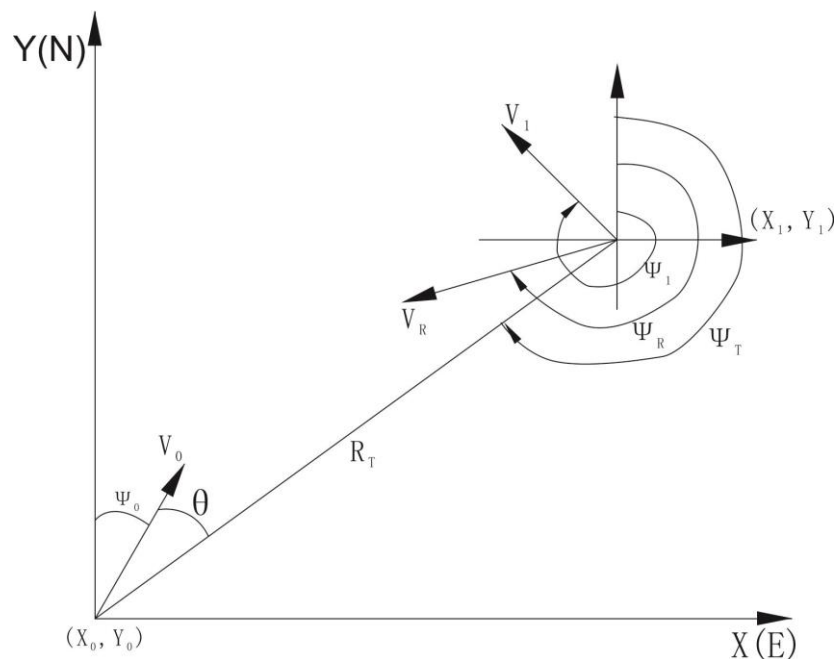


图 4.2 船舶相对运动参数图

本船及他船在 X, Y 轴上的分量分别为

$$\begin{cases} V_{0X} = V_0 \sin \Psi_0 \\ V_{0Y} = V_0 \cos \Psi_0 \end{cases} \quad (4-1)$$

$$\begin{cases} V_{1X} = V_1 \sin \Psi_1 \\ V_{1Y} = V_1 \cos \Psi_1 \end{cases} \quad (4-2)$$

他船相对于本船的相对速度在 X、Y 轴上的分量是

$$\begin{cases} V_{XR} = V_{1X} - V_{0X} \\ V_{YR} = V_{1Y} - V_{0Y} \end{cases} \quad (4-3)$$

相对速度的大小为

$$V_R = \sqrt{V_{XR}^2 + V_{YR}^2} \quad (4-4)$$

相对速度的航向为

$$\Psi_R = \tan^{-1} \frac{V_{XR}}{V_{YR}} + \alpha \quad (4-5)$$

其中 if $V_{XR} > 0$ 且 $V_{YR} \leq 0$ $\alpha = 180$;

if $V_{XR} \geq 0$ 且 $V_{YR} > 0$ 或者 $V_{XR} < 0$ 且 $V_{YR} < 0$ $\alpha = 0$;

if $V_{XR} < 0$ 且 $V_{YR} > 0$ $\alpha = 360$;

他船相对我船距离为

$$R_T = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2} \quad (4-6)$$

他船相对本船的真方位为

$$\Psi_T = \tan^{-1} \frac{X_1 - X_0}{Y_1 - Y_0} + \alpha \quad (4-7)$$

其中 α 的规则同公式 (1-5)

最后，这里给出最近会遇距离和到达最近会遇点的时间公式

$$DCPA = R_T \times \sin(\Psi_R - \Psi_T - \pi) \quad (4-8)$$

$$TCPA = R_T \times \cos(\Psi_R - \Psi_T - \pi) / V_R \quad (4-9)$$

根据这些基本的公式可以对本船和他船的运动数据进行计算分析，为船舶的自动避碰奠定基础。

4.2 自动机理论

自动机理论 (automata theory) 将离散数学系统的构造，作用和关系作为研究对象的数学理论。在数理语言学中研究的抽象自动机的理论，抽象自动机是一种能够识别语言的抽象的装置，它不是具有物理实体的机器，而是表示计算机运算方式的抽象的逻辑关系系统，这样的抽象自动机可以用来检验输入的符号串是不是语言中合格的句子，如果是合格的句子，自动机就接收它，如

果不是，就不接收它。

美国语言学家 N. 乔姆斯基等人建立了形式文法和自动机之间的联系，证明语言的形式文法与自动机之间存在着如下的对应关系：①若某一语言能用图灵机来识别，则它就能用 0 型文法生成，反之亦然；②若某一语言能用线性有界自动机来识别，则它就能用上下文敏感文法生成，反之亦然；③若某一语言能用后进先出自动机来识别，则它就能用上下文自由文法生成，反之亦然；④若某一语言能用有限自动机来识别，则它就能用有限状态文法生成，反之亦然。这种关于形式文法与自动机的关系，反映了语言的生成过程与识别过程的内在联系。

在计算机科学中自动机用作计算机和计算过程的动态数学模型，用来研究计算机的体系结构、逻辑操作、程序设计乃至计算复杂性理论。在语言学中则把自动机作为语言识别器，用来研究各种形式语言。在神经生理学中把自动机定义为神经网络的动态模型，用来研究神经生理活动和思维规律，探索人脑的机制。在生物学中有人把自动机作为生命体的生长发育模型，研究新陈代谢和遗传变异。在数学中则用自动机定义可计算函数，研究各种算法。现代自动机的一个重要特点是能与外界交换信息，并根据交换得来的信息改变自己的动作，即改变自己的功能，甚至改变自己的结构，以适应外界的变化。也就是说在一定程度上具有类似于生命有机体那样的适应环境变化的能力。

自动机与一般机器的重要区别在于自动机具有固定的内在状态，即具有记忆能力和识别判断能力或决策能力，这正是现代信息处理系统的共同特点。这一特点正可以用来判断船舶状态，分析自身所处周边环境，根据分析结果进一步做出动作。

4.3 本文所采用的避碰模型

船舶自动避碰策略的研究已经发展多年，各界研究人员对避碰策略提出了不同的解决方案，比如模糊数学法、神经网络、灰色关联分析、专家系统、粒子群优化算法、危险模式免疫控制算法、分解协调法、模拟退火算法等等，每种方法都各有优点。

本文所提出的避碰策略是借鉴于编译原理中自动识别机原理，完成对障碍物船舶的识别，根据识别结果做出避碰动作。在这个模型中只针对我船来说，

对周边他船进行识别匹配，如果将船舶的位置、速度、方向等属性看作是一个单词的基本组成单位，那么一条船就是一个单词，周边所有的船组成的态势就是一个句子，分析整个句子的结构就是在分析他船对我船的态势，根据分析结果做出动作判断。本文的船舶自动避碰模拟软件只是实现了部分的避碰分析功能。

以下是识别船舶状态的文法规则：

船舶状态的判断：

〈船舶状态〉：= 〈在航〉 | 〈不在航〉 | 不定；

〈在航〉：= 〈速度变化〉 + 〈航向变化〉；

〈速度变化〉：= 速度增大 | 速度减小 | 速度不变；

〈航向变化〉：= 航向增大 | 航向减小 | 航向不变；（航向按顺时针算）

〈不在航〉：= 〈系岸〉 | 〈锚泊〉；

〈系岸〉：= 〈锚泊〉 + 靠近陆地；

〈锚泊〉：= 抛锚 + 速度为 0 + 航向变化微小；

船舶危险性的判断：

〈危险性〉：= 〈危险〉 | 〈不危险〉；

〈不危险〉：= 无动作；

〈危险〉：= 〈对遇〉 | 〈交叉相遇〉 | 〈追越〉；

〈对遇〉：= 右转；

〈交叉相遇〉：= 〈左舷交叉〉 | 〈右舷交叉〉；

〈追越〉：= 〈主动追越〉 | 〈被追越〉；

〈左舷交叉〉：= 加速并右转；（ 247.5° — 354° ）

〈右舷交叉〉：= 〈小角度交叉〉（ 6° ≤角度≤ 67.5° ） | 〈大角度交叉〉（ 67.5° ≤角度≤ 112.5° ）

〈小角度交叉〉：= 减速并右转；

〈大角度交叉〉：= 加速并左转；

根据船舶状态的文法可以判断周边船舶的运动状态，根据危险性文法可以

判断船舶与他船是否处在危险的状态，在此识别出的是单一船舶，如果多次分析，将周边船舶连成一个句子，对这个句子进行分析，最后做出判断性动作。

在代码中仅对船舶的距离和方位进行判断，从而决定要做的动作，以下是判断后动作的代码：

```
int a=mindistance();
if(a==-1) return;
if(Global. distance[a]>70) return;//判断是否危险
//找出存在危险的障碍物
double analyse=Global. course[a]-Global. vector[a][1];
//判断船舶相对方向与真方位
if(analyse>=0&&analyse<=6||analyse>=354&&analyse<360) {//对遇
    ChangeDirection(gra);
    Global. changeflag(a, 1);
}
else if(analyse>=247. 5&&analyse<354) {//左舷交叉相遇
    ChangeDirection(gra);
    ChangeSpeed(gra);
    Global. changeflag(a, 1); //该变量表示碰到的是哪个障碍物
}
else if(analyse>6&&analyse<=67. 5) {//右舷小角度交叉相遇
    ChangeDirection(gra);
    ChangeSpeed(-gra);
    Global. changeflag(a, 1);
}
else if(analyse>67. 5&&analyse<=112. 5) {//右舷大角度交叉相遇
    ChangeDirection(-gra);
    ChangeSpeed(gra);
    Global. changeflag(a, 1);
}
```



```

else if(analyse>112.5&&analyse<247.5){
    ChangeSpeed(gra);
    Global. changeflag(a,1);
}

```

可以利用类似的原理对船舶状态进一步分析，构成句子，得出语法树对整个周边他船进行分析判断。

4.4 本章小结

自动避碰算法的研究只是船舶自动避碰的一小部分，本章基于船舶避碰的数学几何和避碰交通规则，结合自动识别机的理论，提出了新的避碰算法，在前人的基础上更进一步，在实际的避碰领域当中，不仅仅要考虑最小会遇距离和时间这些避碰要素，还需要更多的对周边环境进行分析，才能起到好的避碰效果，所以该避碰算法还需进一步完善。

5 总结与展望

船舶自动化的发展还在初级阶段，如何能保证船舶安全航行是自动化研究的一个重点，船舶自动避碰是船舶自动化的一个方面。本文实在 AIS 技术环境的基础上，对避碰策略进行了研究，相比其他的避碰算法，本方法计算速度快，不需要数据库的支撑，但是本文对此的研究还很浅显，需要进一步的对避碰策略进一步研究探讨，同时，自动避碰在实际中会涉及到很多，如船舶之间的信息交流是否具有像软件中的实时性，还应该考虑船舶自身的操纵性能，当时船舶所处环境的影响，如风浪流流对船舶航向航速的影响等等。本文所研究的船舶避碰模拟软件将自动机理论应用到船舶自动避碰的方法，还需要更多的研究：

1、船舶所在外界环境的不同会对分析造成影响，同时，不同的船舶操纵性能不同，同样需要考虑；

2、模拟软件的设计存在许多缺陷，如在软件模拟的过程中没有对中间代额数据进行记录，以便于对模拟效果进行细致的分析；

3、对于交通系统规则的研究，配合自动避让，好的避碰规则可以简化避让动作，有效减少碰撞事故发生率；

船舶自动避碰的研究还需要更进一步提高，避碰算法的研究应当伸展到各个领域，采用新的思路对避碰进行研究，随着船舶速度和数量的增加，会对船舶的安全性能提出更高的要求，智能化系统无疑会在船舶自动化发展上得到广泛的应用。

致 谢

两个多月的毕业设计令我学到了很多，在解决问题的过程中，自学能力和解决问题的能力得到了提高，感谢孙老师在毕业设计期间对我的指导、鼓励和支持，感谢杨毅学长对我在编程过程中的问题加以指导，同时，感谢在两年中每周末为我们上课的老师，老师的悉心教导令我受益匪浅。

参考文献

- [1]白一鸣, 韩新洁, 孟宪尧. 危险模式免疫控制算法优化船舶避碰策略. 大连海事大学. 2012.
- [2]邹晓华, 吴洁. 分解协调法在船舶避碰决策中的研究. 江苏科技大学. 2010.
- [3]刘以安, 刘静, 吴洁, 邹小华. 模拟退火算法在船舶转向避碰幅度决策中的应用. 中国造船. 2007.
- [4]王仁强. 基于船舶领域的船舶避碰行动决策研究. 大连海事大学. 2012.
- [5]王凤军. 船舶避碰仿真平台设计. 大连海事大学. 2013
- [6]周霄. 关于船舶避碰自动化系统的设计. 科海故事博览. 2013.
- [7]吴博. 基于操纵特性的海事无人艇自主避碰算法研究. 武汉理工大学. 2014.
- [8]鲁艳丽. 基于 ECDIS 的船舶避碰系统研究. 哈尔滨工程大学. 2011.
- [9]江聪, 李宇辰, 王志邦. 基于灰色理论的船舶避碰行动评价. 广州航海高等专科学校学报. 2013.
- [10]何文广. 迷宫机器人控制及避碰算法研究. 哈尔滨工程大学. 2008.
- [11]周世波. 避碰知识库及其管理系统的设计与实现. 上海海事大学. 2005.
- [12]郭云皓. 船舶自动识别系统的研究和船舶自动避碰系统的实现. 电子科技大学. 2005.
- [13]徐务农, 边少锋, 陈永冰. 舰船避碰系统研究综述. 舰船科学技术. 2008.
- [14]张晓兔, 刘祖源, 张乐文. 船舶避碰系统的智能化研究综述. 武汉交通科技大学. 2000.
- [15]孙立成. 船舶避碰决策数学模型的研究. 大连海事大学. 2000.
- [16]王永江. 船舶避碰决策理论与方法的研究. 大连海事大学. 2004.
- [17] 钱勇生, 石培基, 曾琼, 马昌喜, 林芳, 孙鹏, 汪海龙. A study on the effects of the transit parking time on traffic flow based on cellular automata theory. Chinese Physics. 2010.
- [18]陈文字. 形式语言与自动机理论若干问题研究. 电子科技大学. 2009.
- [19] 金检华. 模糊自动机及其语言的代数性质与应用研究. 湖南大学. 2013.
- [20] ZhiYou Cheng Doctor, ChinaYaLing Li Master. Decision to Avoid Ships Collision in Fog and Application. IEEE. 2010.

- [21] Fang Cheng, Deng Hua. The Research on Green Water Load Model in Ship Motion Model of Altering Course to Avoid Collision. Proceedings of 2015 World Conference on Control, Electronics and Electrical Engineering. 2015.
- [22] Yongqiang Zhuo ,Xianglin Fang.Ship.Trial Manoeuvre Based on Ship Movement Simulation. International Conference on System Simulation and Scientific Computing. 2008.
- [23] Fan, Wei Yuan, Wan-cheng, Fan Qi-wu.Calculation method of ship collision force on bridge using artificial neural network. Journal of Zhejiang University(Science A:An International Applied Physics & Engineering Journal). 2008.
- [24]王千龄，陈姚，董海荣，周敏，宁滨.A new collision avoidance model for pedestrian dynamics. 中国科技期刊数据库. 2015.
- [25] CHEN Shu, Rashid Ahmad, Byung-Gil Lee, Do Hyeun Kim. Composition ship collision risk based on fuzzy theory. 2014.