



# 海港进港航道设计辅助分析系统设计与实现\*

唐国磊, 王文渊, 宋向群, 郭子坚, 于旭会

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁大连 116023)

**摘要:** 为合理确定海港进港航道设计的基本尺度, 建立海港进港航道设计辅助分析系统, 为设计人员提供港口服务水平、船舶等待时间等信息。充分利用网络、计算机仿真等技术, 实现船舶航行作业系统仿真、影响因素分析等功能, 并给出系统总体结构及类结构。应用实例表明该系统能模拟船舶航行作业过程, 可有效协助设计人员优化航道设计方案。

**关键词:** 进程交互; 进港航道; 仿真; 港口服务水平

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)08-0126-05

## Design and implementation of coastal entrance channel design computer aided analysis system

TANG Guo-lei, WANG Wen-yuan, SONG Xiang-qun, GUO Zi-jian, YU Xu-hui

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

**Abstract:** To determine the dimension of coastal entrance channel, this paper develops a computer aided analysis system (CAAS) for supplying valuable information such as port service level, waiting time and so on. Integrating the network technology with computer simulation, this paper presents the structures of the system and classes, and achieves the functions of ship navigation simulation and influence factor analysis. An application proves that the CAAS performs well and is helpful for optimizing the dimension of coastal entrance channel effectively.

**Key words:** process interaction; entrance channel; simulation; port service level

目前, 我国正积极实施航道拓宽、浚深工程, 以改善航道通航条件, 减少船舶等待时间<sup>[1]</sup>。航道设计的基本尺度包括航道有效宽度、通航水深、航道通航水位等, 受港区规模、自然条件和船舶到港规律等众多因素影响, 设计人员须准确把握港口服务水平、船舶等待时间、船舶待泊数等信息, 才能合理确定航道设计的基本尺度。

目前, 与航道设计相关的辅助系统有航道工程(开挖)计算机辅助设计系统<sup>[2]</sup>、航道整治CAD系统<sup>[3]</sup>和疏浚工程挖槽设计计算机辅助设计软件<sup>[4]</sup>等, 这些系统集成数据采集、工程量计算、图形生成等功能, 实现航道工程设计数字化、可视化、智能化, 有效提高了航道工程的实施效

率。然而, 这些系统主要应用于航道建设的实施阶段, 尚无法在规划阶段为设计人员提供诸如港口服务水平、船舶等待时间、船舶待泊数量等基本信息, 为航道设计方案优化提供决策支持。为此, 本文针对沿海港口航道规划设计阶段, 引入计算机仿真技术, 应用基于进程交互法的面向对象仿真方法, 开发设计沿海港口航道设计辅助分析系统, 以为沿海港口航道优化设计提供有效的辅助工具。

## 1 系统总体设计

海港进港航道设计辅助分析系统主要由船舶航行作业系统仿真、影响因素分析和辅助功能

收稿日期: 2012-12-12

\*基金项目: 国家自然科学基金(51109030); 大连理工大学基本科研业务费引进人才专题(DUT11RC(3)66)

作者简介: 唐国磊(1980—), 男, 博士, 讲师, 从事水利工程规划、资源优化调度及决策支持系统的教学与科研。

等模块构成,系统总体结构如图1所示。该系统以JNLP(Java Network Launch Protocol)应用程序形式发布,具有自动更新应用程序的功能,用户只需通过Web浏览器即可访问软件系统的各项功能,突破时间、空间限制,可以随时随地进行航道方案的设计与演示。

系统客户端为拥有系统权限的设计人员,通过Web浏览器将航道设计方案输入船舶航行作业系统仿真模块,仿真运算后,系统会给出该航道设计方案对应的港口系统性能指标值,作为航道设计方案评价的依据;同时,也可以改变航道设计方案或影响因素,分析系统各因素对系统性能指标值的影响,为航道设计方案优化提供更全面的基础数据。

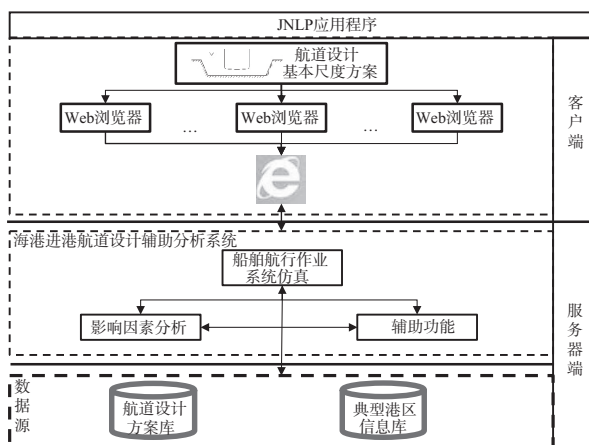


图1 海港进港航道设计辅助分析系统总体结构

系统服务器端由Web服务器和数据库服务器等组成。其中,Web服务器利用网络、计算机仿真等技术实现仿真运算、影响分析等,用户可通过浏览器实现系统的各项操作。数据库服务器主要用来管理典型沿海专业港区基本信息和航道设计方案等,方便用户查询管理航道设计方案,并为与现有航道岩土特性和水文条件类似的航道方案设计提供参考借鉴。

## 2 系统关键技术及实现

船舶航行作业系统是一个复杂的随机离散动态事件系统,为获得港口服务水平、船舶等待时间、船舶待泊数量等数据,本文应用基于进程交互法的面向对象仿真技术,建立港口船舶航行作

业仿真模型,它是系统的核心部分,也是系统实现的关键。

### 2.1 基本概念

1) 实体是组成系统的各种要素,分为永久实体和临时实体。永久实体是指经常处于系统之内,且数量保持稳定的实体;临时实体又称为主动实体,是指进入系统并经过相应的环节后再离开系统,在系统中的数量经常变化的实体。

2) 进程用于描述一个临时实体从进入系统到退出系统所经历的完整过程,由实体所发生的若干事件和所进行的若干活动构成,并给出事件和活动间的逻辑关系和时序关系。

在船舶航行作业系统中,船舶航行作业过程是从船舶到达港口开始,经过锚地待泊,航道航行进港、回旋水域调头、靠泊装卸作业、离泊驶入航道离港等过程,直到船舶离开港口结束<sup>[5]</sup>。可见,在船舶航行作业系统中,永久实体包括航道、锚地、泊位等,临时实体则为船舶。那么,进程则用来描述船舶从到达港口到离开港口所经历的航行作业过程。

### 2.2 仿真策略

仿真策略是仿真的世界观,它规定了系统模型的表达方法、仿真运行机制和仿真时间推进策略。在复杂系统仿真中,进程交互法是一种比较常用、建模最为直观的方法,是以实体在系统中的行为过程为主线的一种仿真策略,按照进程的方式组织事件,具有事件组织条理清晰,易实现分布、并行仿真等特点。在HLA(High Level Architecture,国防系统建模与仿真高级体系结构)、DIS(Distributed Interactive Simulation,分布式仿真)等面向对象分布式仿真中均采用进程交互的思想<sup>[6]</sup>。

在基于进程交互的面向对象离散事件仿真中,系统中的每个主动实体用一个对象来表示。这个对象是活动的,在运行时称为“仿真进程”,每个仿真进程都是一个独立的进程(Thread),成为仿真的基本单元。仿真调度器根据每个实体的状态和当前仿真状态来确定实体是处于活动状态或者等待状态。一个进程一旦被

执行，就会尽可能地推进下去，直至出现中断或进程结束。中断的出现是由于执行该进程所需的资源得不到满足，实体不得不停下来等待。系统会监督整个系统的状态，当实体要求的资源得到满足时，将唤醒等待的进程继续执行。值得注意的是，进程交互需要多线程机制的支持，会增加编程实现的复杂性以及线程挂起、重启等开销。

因此，在船舶航行作业系统仿真中，基于进程交互法基本思想，将船舶实体（Ship）作为仿真线程，其生命周期从船舶到达港口开始，经过锚地待泊、船舶进港、装卸作业和船舶出港等，直至离开港口结束。

### 2.3 类结构

#### 1) 公共类。

进程交互法仿真公共类，是计算机仿真的基础类，包括类Process, Entity, Queue和Simulation, 见图2。其中，类Process是仿真线程基类，实现

仿真线程具有启动、挂起、恢复、停止等基本操作；类Entity为实体进程类，是类Process的子类；类Queue保存系统中仿真实体进程；类Simulation实现进度调度，也是类Process的子类，利用给定的调度机制控制Queue中各个仿真实体进程的运行。

#### 2) 业务类。

船舶航行作业业务类是系统的核心类。依据船舶航行作业系统构成，业务类由Ship, Port, Terminal, Anchorage, EntranceChannel, OneArrivals, EntranceChannelSystem等类构成，如图2所示。其中，类Ship是船舶实体线程，是Entity的子类；类Port, Terminal, Anchorage, EntranceChannel是系统的永久实体对象，为船舶实体提供服务；类OneArrivals根据船舶到港规律随机生成船舶；类EntranceChannelSystem是类Simulation的子类，实现船舶实体进出港口的进度调度。

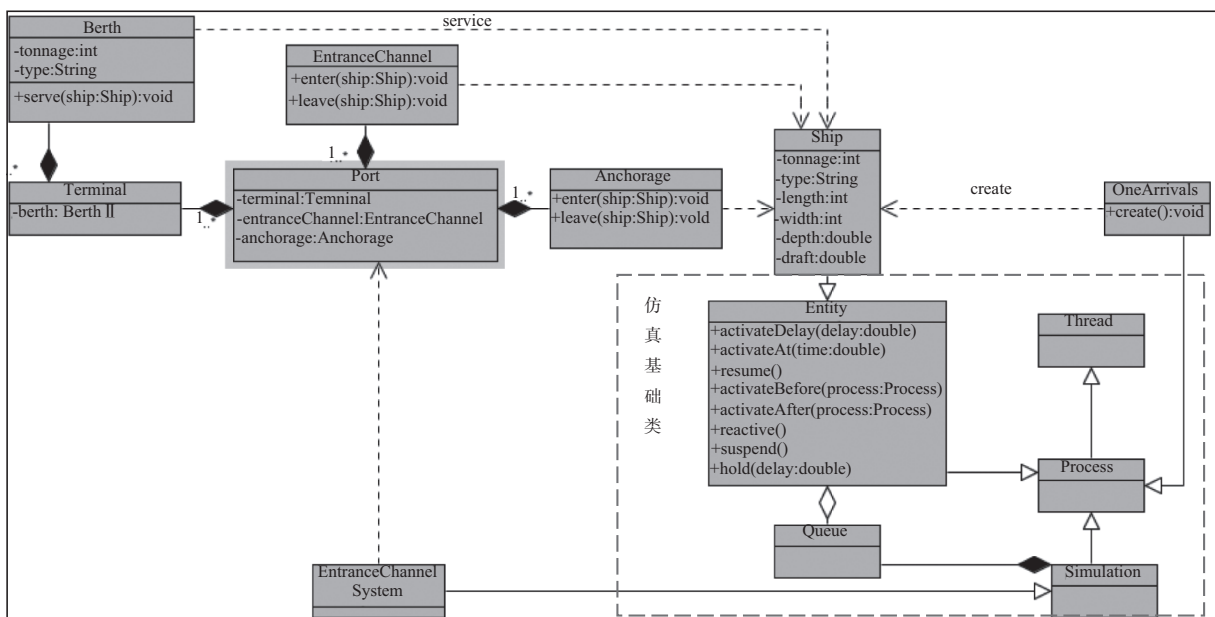


图2 船舶航行作业系统静态结构

## 3 系统主要功能

### 3.1 系统仿真

用户根据港区规模、自然条件等确定航道设计基本尺度方案，并输入到系统中（图3），运行船舶航行作业仿真模块，系统会给出该方案对应的系统性能指标值（图4）。这些指标包括港口服务水平、平均/最大等待泊位/航道时间、平均/最

大等待时间、平均/最大在泊时间等，作为航道设计方案评价的依据。

港口服务水平是衡量港口竞争力的重要指标，通常用AWT/AST表示。其中，AWT是船舶的平均等待时间，而AST是指港口在正常情况下，平均装卸一艘船所需要的时间（即船在泊位上的停时）。一般来说，合理的AWT/AST指标值与港

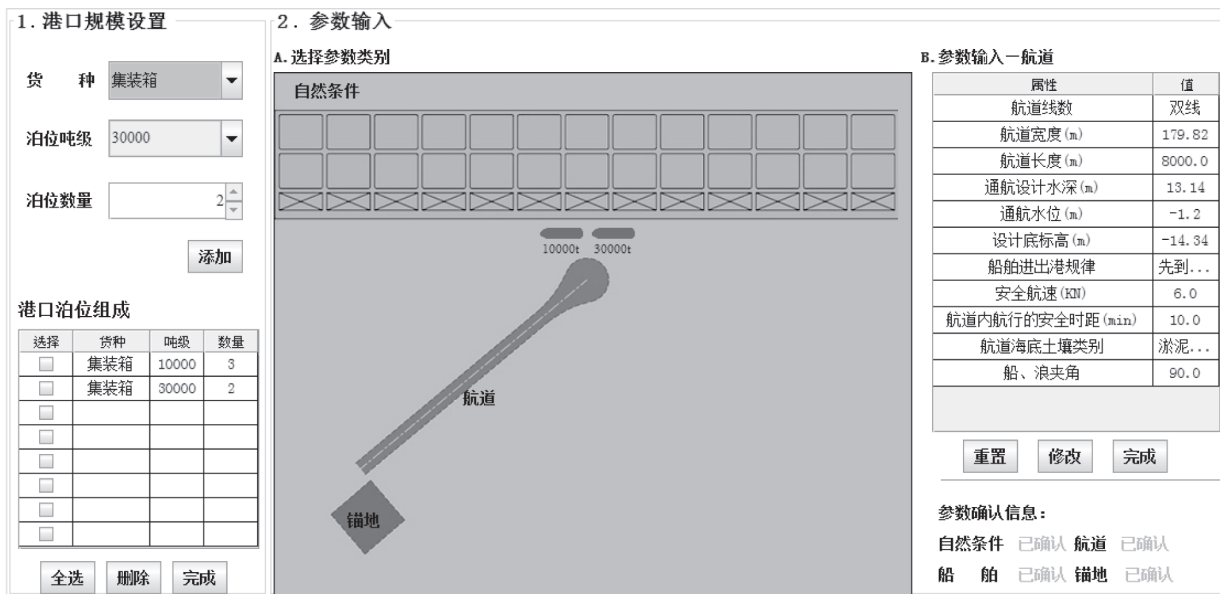


图3 沿海港口航道设计辅助分析系统模型参数设置界面

船舶等待时间		值 (小时)
平均等待泊位时间(AWBT)		2.57
最大等待泊位时间(MWBT)		59.35
平均等待航道时间(AWCT)		1.23
最大等待航道时间(MWCT)		46.75
平均等待时间(AWT)		3.8
最大等待时间(MWT)		46.75

船舶在泊时间		值 (小时)
平均在泊时间(AST)		9.48
最大在泊时间(MST)		59.35

待泊船舶数量		值
平均待泊船舶数量 (艘)		3
最大待泊船舶数量 (艘)		15
最大待泊数量的吨级构成(货种*吨级*数量)		集装箱:30000 * 9;10000 * 6;

航道		值
年通过航道船舶艘次 (艘次)		3680
港口服务水平 (AWT/AST)		0.4
年通过航道船舶载重吨总和 (万吨)		8155
航道利用率 (%)		75.0

锚地	集装箱	散货	油品	杂货
锚泊方式	单锚			
锚地面积(平方米)	5506587			

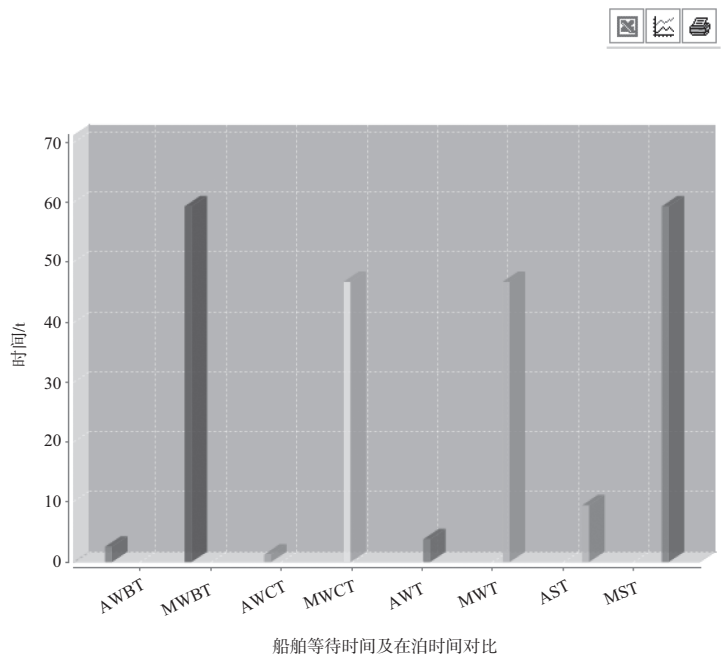


图4 沿海港口航道设计辅助分析系统结果输出界面

口所在地经济发展水平有关, 实际应用时, 应广泛征求港口及船公司意见。《海港集装箱码头设计规范》建议3个以上泊位连续布置的大型(5万吨级以上)集装箱码头服务水平指标宜为 $0.1 \leq AWT/AST \leq 0.3$ ; 2个以下泊位组成的小型集装箱码头服务水平指标宜取 $0.4 \leq AWT/AST \leq 0.5$ <sup>[7]</sup>。

### 3.2 影响分析

1) 依次改变航道设计的影响因素, 如船舶到港规律、船舶吨级及装载量等, 仿真计算各影响

因素变化对港口系统性能的影响, 找出影响该港区航道设计的敏感性因素。

2) 依次改变航道设计方案中某个尺度的设计值, 仿真计算各尺度值变化对港口系统性能指标的影响, 找出航道设计方案优化的方向。

### 3.3 辅助功能

辅助功能协助设计人员形成报表数据, 实现航道设计方案的汇总、查询、打印及导出等。

#### 4 应用实例

以某集装箱码头为例,该作业区由3个1万吨级泊位和2个3万吨级泊位组成,根据港区自然条件等,给出3个航道设计方案:1)单向航道,设计低水位为通航水位,满足最大船型全天候进出港;2)双向航道,以乘潮累积频率90%乘潮水位为通航水位,满足最大船型乘潮进出港;3)双向航道,满足最大船型全天候进出港。各航道方案的基本尺度见表1,试确定适应港区发展的航道尺度设计方案。

在海港航道设计辅助分析系统参数设置界面分别输入航道设计方案,运行仿真程序后,得到各航道方案下的仿真结果,如表2所示。对比表2中各方案的港口系统性能指标,可以看出:

1)从港口服务水平、船舶等待时间等指标

来看,双向航道设计方案要明显优于单向航道。如港口服务水平指标,方案1单向航道, $AWT/AST=0.79$ ,而方案2和方案3均为双向航道, $AWT/AST$ 分别为0.38和0.26,明显要优于方案1。

2)参考《海港集装箱码头设计规范》,根据本港区规模,其服务水平指标可取 $0.3 \leq AWT/AST \leq 0.4$ 。虽然方案3  $AWT/AST=0.26$ ,要高于方案2  $AWT/AST=0.38$ ,但方案2已可满足规范要求,而且航道疏浚成本要低于方案2。

可见,海港航道设计辅助分析系统提供给定航道设计方案下港口系统性能的指标值,可协助设计人员优化确定合理的航道设计方案,从而保证港方和船方的共同利益。

表1 单、双向航道基本尺度设计方案

方案	航道线数	通航水位/m	有效宽度 $W$ /m	长度/m	设计水深 $D$ /m
1	单向	-2.0(设计低水位)	180		
2	双向	-1.5(90%乘潮水位)		8 000	13.14
3	双向	-2.0(设计低水位)	343.5		

表2 单、双向航道基本尺度设计方案对应的系统性能指标对比

方案	港口服务水平 ( $AWT/AST$ )	船舶等待时间/h				船舶在泊时间/h			
		平均等待 泊位时间	最大等待 泊位时间	平均等待 航道时间	最大等待 航道时间	平均等待 时间	最大等待 时间	平均在泊 时间	最大在泊 时间
方案1	0.79	5.51	60.55	2.27	72.69	7.78	72.69	9.85	60.55
方案2	0.38	2.91	73.83	0.81	44.44	3.73	44.44	9.88	73.83
方案3	0.26	2.43	81.70	0.04	40.30	2.47	40.30	9.57	81.70

#### 5 结论

海港进港航道设计辅助分析系统引入计算机仿真技术,考虑港区规模、自然条件和船舶到港规律等因素,可提供港口服务水平、船舶等待时间、船舶待泊数等信息,为设计人员合理确定航道设计的基本尺度提供依据。应用实例说明该系统能模拟船舶航行作业过程,可有效协助设计人员优化航道设计方案。同时,航道设计不仅要考虑由于航道水深不足,使船舶待泊和码头空闲所造成的经济损失,还要考虑航道疏浚建设费和维护投资,因此,还要进一步完善海港进港航道设计辅助分析系统,集成航道疏浚建设和维护等费用计算功能,更好地为航道设计提供决策支持信息。

#### 参考文献:

- [1] 郭子坚,王文渊,唐国磊,等.基于港口服务水平的沿海港口航道通过能力[J].中国港湾建设,2010(S1):46-48.
- [2] 刘信华,覃昌佩,谢涛.航道工程(开挖)计算机辅助设计系统应用[J].西部交通科技,2011(48):91-95.
- [3] 龚邦勋.航道整治CAD系统开发[J].水利水电科技进展,2002,22(4):36-37.
- [4] 朱汉华,刘正林,范世东,等.航道挖槽定线的计算机实现[J].武汉理工大学学报,2001,25(3):255-258.
- [5] 郭子坚.港口规划与布置[M].3版.北京:人民交通出版社,2011.
- [6] 刘宝宏.面向对象建模与仿真[M].北京:清华大学出版社,2011.
- [7] JTS 165-4—2011 海港集装箱码头设计规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)