

港口服务系统的计算机仿真研究

鲁子爱 林民标

(河海大学港口航道及海岸工程学院 南京 210098) (福建省港航管理局 福州 350009)

摘 要 把港口生产视为随机服务系统,建立了模拟港口营运状况的计算机仿真系统.港口吞吐量、船舶的平均等待时间、平均服务时间和平均排队长度等港口营运参数的模拟计算值与实际统计值基本一致,表明该仿真系统能够客观地反映港口的实际营运状况,可为港口建设和发展提供决策依据.

关键词 港口 随机系统 仿真 排队论

中图号 U691

港口的服务对象是船舶,服务设备是港口的所有设施,其中最主要的是供船舶停靠的码头及其装卸设备.船舶营运受到自然条件、码头装卸效率、港口货物储存量等许多因素的影响而无法按规定的时间到达港口.由于船舶到港的随机性,使之与码头和锚地一起构成了港口的随机服务系统.从 60 年代起,国外开始利用在概率论和数理统计基础上发展起来的排队论分析港口服务系统,80 年代后,国内许多学者亦从事这方面的研究,建立排队模型描述港口的营运状况,利用排队理论分析求解,得到系统的数值特征值(如船舶的平均等待时间、平均排队长度等),从而确定港口的建设规模,目前在港口规划中广泛采用^[1].但在排队论计算方法中,港口以开放形式服务,即系统中的所有码头泊位均可为每艘船舶服务,为了较好地反映实际情况,必须对不同货类分别计算,并且对同一货类也要将泊位和船舶按吨级大小分为若干个等级分别计算.尽管如此,在各种计算情况中也不能考虑来港船舶大小的随机性和码头泊位装卸效率的波动,以及自然条件变化等对港口营运的影响,致使计算结果的可信程度降低.利用计算机仿真技术模拟港口服务系统,可以充分考虑各种随机因素,比较客观地反映港口的实际营运状况,从而为港口建设和发展提供更为可靠的决策依据.

1 系统仿真模型

1.1 船舶到达分布模式

国内外大量统计资料表明,大多数港口的船舶到达服从泊松分布,在 t 时段内到达 n 艘船的概率为

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$$
 (1)

式中的 λ 为单位时间内平均到港船舶数.

图 1 是某港口 1996 年 2 301 艘到港船舶的统计资料,从图中可见,该港的船舶到达基本服从泊松分布.

相继到达的两艘船间隔时间 t 服从负指数分布,其概率为

$$P(t) = 1 - e^{-t/\lambda}$$
 (2)

利用 $[0,1]$ 均匀分布随机数,可求得参数为 λ 的服从负指数分布的随机数 R ,即两艘船到达的间隔时间.若以 DT_k 表示第 k 艘船的到港时刻,则

$$DT_{k+1} = DT_k + R$$
 (3)

利用此式可形成在模拟时间内的船舶到港时刻表,即“事件表”

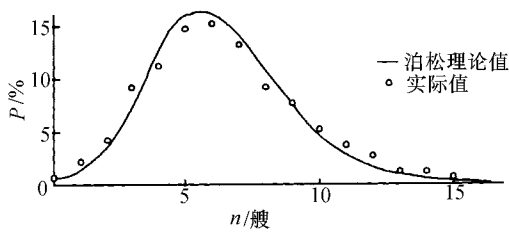


图 1 某港船舶到达分布

Fig.1 Arrival distribution of ships

中的“船表”。

1.2 实体属性

船舶和服务设备都是港口服务系统所研究的对象,即实体。实体由其属性来描述,属性反映实体的某些性质。模型中考虑了三种实体属性,类型、吨级和服务特征。类型属性表示船舶的载货种类或者码头泊位的装卸货种,吨级属性表示船舶的大小或者码头泊位的靠泊能力,服务特征属性对船舶实体而言表示船舶是装货或卸货还是既装货又卸货,对码头泊位而言则表示其装卸效率的大小。

码头泊位属性是确定性参数,作为已知量输入,船舶属性是不确定量,由系统随机产生。利用 $[0,1]$ 均匀分布随机数,根据船舶属性的概率分布可确定每艘到港船舶的类型、吨级和服务特征,并记录于“船表”中。

1.3 系统服务模式

在港口实际生产过程中,船舶的排队和接受服务以及码头泊位的闲置和被占用,均需按照一定的规则进行,这些规则就构成了系统的服务模式。考虑港口生产的实际情况,仿真模型采用如下服务模式:

- a. 任何码头泊位在同一时刻只能为一艘船舶服务,并且被服务的船舶类型与泊位类型一致,船舶吨位小于或等于泊位的靠泊能力;
- b. 只要有与码头泊位相适应的船舶在等待,码头泊位就不允许空闲;
- c. 只有当与船舶相适应的所有泊位都被占用时,船舶才可排队等待,否则就必须停靠某个泊位接受服务;
- d. 船舶按先到先服务的原则接受服务,但大吨位船舶具有优先权;
- e. 船舶到达港口后,只要港内船舶排队长度未达到限制值就必须接受服务或者排队等待,并且不得中途离港,当船舶排队长度达到限制值时,船舶必须转向其它港口;
- f. 船舶属性一旦确定,在港排队或者接受服务过程中保持不变;
- g. 船舶占用泊位时间根据船舶装卸量、码头泊位装卸效率、气候影响等条件计算确定。

1.4 仿真模型结构

港口服务系统的仿真模型由参数设定、系统初始化、事件处理、状态演示和统计结果5个子模块和主模块组成,如图2所示。参数设定模块对港口经常变化的参数,如船舶平均到达率、船舶类型和吨级的概率分布、码头泊位的种类、数量、靠泊能力和装卸效率等进行设定或修改。系统初始化模块在仿真一开始给定系统的初始状态,如仿真时钟置零、累计统计量置零等。事件处理模块对模型中的事件进行处理,并相应地改变系统状态。状态演示模块动态显示在仿真当前时间各类作业区正在作业的船舶数量和泊位利用率、锚地各类船舶的排队长度和排队总长度。统计结果模块按船舶种类和吨级大小对进出港船舶数量、船舶的等待时间和占泊时间、船舶排队长度分布以及港口吞吐量等特征量进行随时统计。主模块控制时钟的推进以及各模块之间的连接和数据传递。

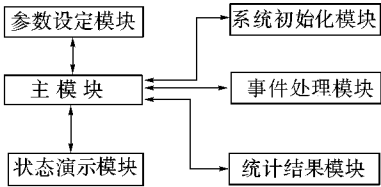


图2 系统仿真模型结构
Fig.2 Model structure for system simulation

2 系统仿真程序设计

港口服务系统是离散型随机系统,系统状态的变化发生在离散时刻,呈状态突变。因此在模拟中,无须详细描述两个离散时刻之间所发生的动态过程,只要抓住各事件发生时间,并按时间发生的顺序描述各时间点上的系统状态,即可掌握系统的动态变化过程。

2.1 仿真时间的推进

仿真系统中采用事件扫描法推进仿真时钟。系统将随机产生的事件按时间的先后次序排列在一个表格里,时钟推进间隔的长度由扫描事件表里下一个最早发生的事件所决定,即仿真时钟按被仿真的事件的发生时间向前推进,比较切合实际,是仿真中广泛采用的时间推进方法^[2],它不仅可以节省机时,提高运行效率,而且还克服了周期扫描法在时间步长间隔内发生的事件都被当作是在间隔末端时刻发生的这一缺点,提高了模拟精度。

2.2 随机数的产生

仿真系统中,利用线性同余法产生“伪随机数”作为 $[0,1]$ 上均匀分布的随机数,虽然它不是真正的随机

数,但只要选择的参数合宜,可产生出一系列接近于 $[0,1]$ 均匀分布的随机数,能够很好地达到模拟要求,因此目前在离散系统模拟中广泛应用^[3].

令 x_0 为随机种子; x_i 为第 i 个数值; a 为常数; c 为增量; m 为模(取足够大的整数),按下式产生整数序列

$$x_i = (ax_{i-1} + c) \text{ Mod } m, (i = 1, 2, \cdots)$$
 (4)

其含义是将 $(ax_{i-1} + c)$ 除以 m 并取其整数部分即为 x_i 的数值.显然 $0 \leq x_i \leq m - 1$.

令 $R_i = x_i/m$,则 R 的值是在 $[0, \frac{m-1}{m}]$ 之间变化并接近于 $[0,1]$ 均匀分布的随机数.为保证 R 的均匀分布性,产生足够多的不重复随机数,在选择参数 a, c, m 时,除尽量使 m 足够大外,还应满足以下三个条件:(a) c 与 m 互质;(b)如 m 能被质数 q 整除,则 $(a - 1)$ 也能被 q 整除;(c)如 m 能被 4 整除,则 $(a - 1)$ 也能被 4 整除.

随机数是产生各种随机变量的基础,对模拟结果的可靠性影响很大,因而对于采用上述方法产生的随机数,需要对其统计特性进行检验.在仿真系统中对随机数发生器进行了均匀性检验和独立性检验,检验结果良好.

2.3 事件的处理

事件是改变系统状态的实体的瞬间行为,在港口服务系统中,船舶到达、船舶进入锚地等待、船舶靠码头接受服务、船舶装卸结束离港等均为事件,每个事件的发生均引起系统状态的变化.通过分析不难发现,如果没有船舶到达或离港,其它事件也不会发生,系统状态也就不发生变化.因此在港口服务系统的仿真模型中,只有‘船舶到达’和‘船舶离港’两类事件,程序设计中只需对这两类事件进行处理.

船舶到达港口后,首先记录其到达时间,确定其属性,然后扫描码头泊位表,若有相适应的空闲泊位,船舶就停靠接受服务,将该泊位置‘忙’状态,记录船舶的靠泊时间,计算产生服务时间,安排新的离港事件.若相应的泊位都被占用,船舶就进入锚地依次排队等待,同时将相应船舶的排队长度和所有船舶的排队总长度加 1.到达事件执行流程如图 3 所示.

船舶离港事件发生后,首先统计相应货类的装卸量、船舶的作业时间和在港总时间,将码头泊位置‘闲’状态,然后扫描锚地排队船舶的相应船舶类型队列,若相应船舶队列为‘空’,转向下一事件.若相应船舶队列非‘空’,则在船舶吨位小于或等于码头泊位吨级的条件下,按先到先服务和大船优先服务的规则选中船舶停靠码头,将泊位置‘忙’状态,同时将锚地排队船舶的相应队列和总队列的长度减 1,并记录船舶的靠泊时间和统计船舶的等待时间,计算产生服务时间,安排新的离港事件.离港事件的执行流程如图 4 所示.

2.4 程序设计

港口系统仿真模拟流程如图 5 所示,它也是程序设计框图.在程序设计中主要考虑了系统通用性强、操作简单、使用方便、统计数据完整、报表输出方便等原则.系统统计了以下资料:

分港区、分货类、分月份的港口吞吐量和分类型、分吨级进出港船舶数量,以表格形式显示或输出;分船舶类型的每天作业船数和等待船数以及各类船舶日最大排队长度和所有船舶日最大排队总长度的分布情况,以表格形式显示;分类型、分吨级的船舶平均等待时间、占泊时间和在港总时间,以直方图形式显示或输出.

3 应用实例

以某港 1996 年的实际营运资料为依据,利用本文仿真模型及程序对该港口的营运情况进行了仿真分

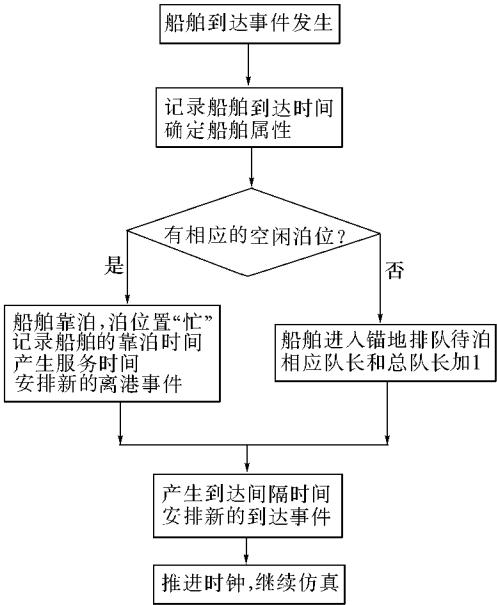


图 3 到达事件执行流程
Fig.3 Flowchart for arrival events

析.

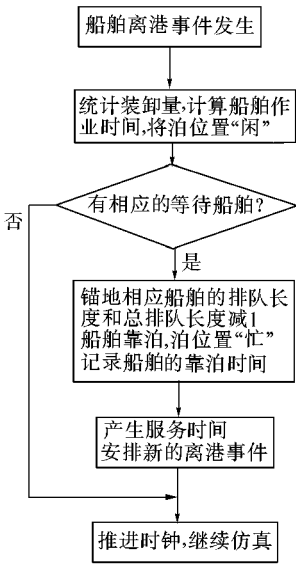


图 4 离港事件执行流程

Fig.4 Flowchart for departure events

3.1 基本资料

该港口设有 6 个港区,共有生产泊位 72 个,其中 万吨级以上深水泊位 17 个,千吨级中级泊位 18 个,小船泊位 37 个. 包括件杂货码头、煤炭、矿石、散粮和散肥等干散货码头、集装箱码头、油码头和客运码头以及客货两用码头,是一个综合性港口.

统计资料表明该港船舶到达服从泊松分布(见图 1),1996 年船舶平均到港率 $\lambda = 1.404$ 艘/h,各类船舶的实际频率分布如表 1 所示. 港口泊位种类、吨级和装卸效率等从略.

表 1 到港船舶类型、吨级频率分布

Table 1 Probability distribution of ship type and tonnage

吨级/t	类型频率分布				
	杂货船	散货船	集装箱船	油 船	客货船
	29.762	2.951	17.421	5.122	44.744
500 以下	76.864	19.835	4.620	16.667	95.367
500 ~ 2999	17.072	33.333	55.156	65.873	0
3000 ~ 5999	3.414	15.702	21.045	5.397	0.073
6000 ~ 9999	1.284	4.959	11.899	1.587	3.834
10000 ~ 19999	0.847	16.529	5.833	3.809	0.127
20000 ~ 29999	0.355	6.887	0.514	5.873	0
30000 ~ 39999	0.164	2.755	0.653	0.794	0
40000 以上	0	0	0.280	0	0.599

3.2 模拟结果

港口到达船舶数量、吞吐量、船舶平均等待时间、平均每天等待船数等主要参数的模拟计算结果

与实际统计结果的比较如表 2 和表 3 所示. 从表中可见,模拟值与实际值基本是一致的.

表 2 主要特征量比较

Table 2 Comparison of the main parameters

参 数	到港船数/艘	吞吐量/万 t	平均等待时间/h	平均等待船数/艘
模拟计算值	12218	1551	18.61	8.31
实际统计值	12301	1553	17.19	8.59

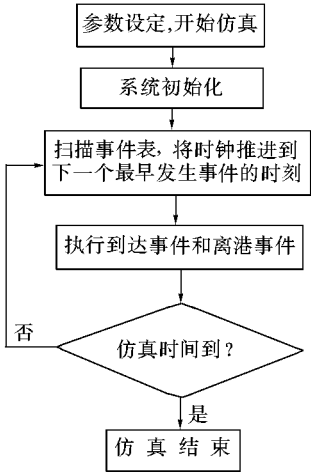


图 5 系统仿真模拟流程

Fig.5 Flowchart for system simulation

表 3 各类船舶到港数量比较

		Table 3 Comparison of arrived ships					艘
吨级/t		杂货船	散货船	集装箱船	油船	客货船	合计
500 以下	模拟	2 789	74	101	101	5 222	8 287
	实际	2 814	72	99	105	5 249	8 339
500 ~ 2 999	模拟	638	115	1 185	406	0	2 344
	实际	625	121	1 182	415	0	2 343
3 000 ~ 5 999	模拟	120	54	438	38	5	655
	实际	125	57	451	34	4	671
6 000 ~ 9 999	模拟	48	19	261	11	199	538
	实际	47	18	255	10	211	541
10 000 ~ 19 000	模拟	30	55	123	23	7	238
	实际	31	60	125	24	7	247
20 000 ~ 29 999	模拟	11	25	13	36	0	85
	实际	13	25	11	37	0	86
30 000 ~ 39 000	模拟	6	11	16	4	0	37
	实际	6	10	14	5	0	35
40 000 以上	模拟	0	0	5	0	29	34
	实际	0	0	6	0	33	39
总 计		3 642	353	2 142	619	5 462	12 218
		3 661	363	2 143	630	5 504	12 301

4 结 语

利用计算机仿真技术模拟港口随机服务系统,可以充分考虑港口营运中的各种随机因素,比较客观地反映港口生产实际,获得比用其它方法计算更为合理的港口特征量,从而为确定港口建设和发展的合理规模提供比较可靠的决策依据.

对于船舶到港符合泊松分布的港口,输入与港口相适应的实际参数后,就可利用该仿真系统进行模拟,从而获得所需要的港口数值特征值.对船舶到达为其它某种分布的港口,将程序略加修改即可使用.

参 考 文 献

1 鲁子爱. 排队论在港口规划中的应用. 水运工程,1997(8): 11 ~ 15
2 王惠刚. 计算机仿真原理及其应用. 长沙: 国防科技大学出版社,1994. 200 ~ 217
3 齐东海. 港口工程系统分析方法. 北京: 人民交通出版社,1991. 244 ~ 263

On Numerical Simulation of Port Service System

Lu Ziai

(College of Harbor, Waterway and Coastal Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Lin Minbiao

(Harbor and Waterway Administration Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350009)

Abstract With the port regarded as a stochastic service system, a numerical simulation system for its production state is constructed in this paper. The calculated values of the port parameters, such as the handling volume of the port, the average waiting time and the served time of ships, the average queuing-up length of waiting ships, etc., are basically in agreement with statistical values. This shows that the system can objectively reflect the actual production state of the port, and therefore it can provide a scientific basis for the determination of port construction and development.

Key words port ; stochastic system ; simulation ; queue theory