



干散货码头堆场垛位随机动态过程 与细化网格模型

刘园香, 周 强

(武汉理工大学物流工程学院, 湖北 武汉 430063)

摘 要: 堆场的垛位管理是干散货码头的重要问题。基于随机服务理论, 对堆场垛位的动态变化进行了深入研究, 分析了垛位动态变化的机理, 将连续空间的堆场进行了网格化逼近, 建立了堆场垛位动态变化的数学模型。在此基础上, 建立了描述堆场垛位动态变化的煤炭码头物流系统细化仿真模型, 并结合实际专业煤炭码头的仿真试验, 验证了模型的精确性和适用性。

关键词: 码头; 垛位; 网格

中图分类号: U 658.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0067-05

Random dynamic process of yard pile-bit and refined stacking grid simulation model on dry bulk cargo wharf

LIU Yuan-xiang, ZHOU Qiang

(College of Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: The management of the stack yard of bit dry bulk terminal is an important issue. Based on the stochastic service theory, we carry out a study on the dynamic changes of yard pile-bit, analyze the theory of the dynamic change of yard pile-bit, and establish a yard pile-bit dynamic mathematical model by gridding the continuous space of the yard. On this basis, we establish a simulation model of the coal terminal logistics system which has a fine description of the dynamic change of the yard pile-bit. Moreover, we make a simulation test of an actual professional coal terminal, which verify the accuracy and applicability of the model.

Key words: terminal; pile-bit; grid

随着我国经济的高速发展, 对煤炭、矿石等大宗散货的需求量越来越大。码头是干散货物流的重要节点, 它的规划建设与运营管理受到多方面的关注。干散货在码头是分品种分货主按垛位进行堆放管理的^[1]。由于码头堆场资源有限, 有效地利用堆场是码头管理者非常关心的问题。过去发表文献的研究大多重点集中在泊位调度、装船能力、设备配置等方面, 描述堆场的模型都比较简单, 对码头物流过程的研究不够深入细致^[2]。本文基于随机服务理论, 采用连续空间的网格化逼近方法, 建立了码头堆场垛位变化稳态随机模型。在此基础上, 利用仿真软件建立了整个码头物流系

统的仿真模型, 完成了仿真试验分析, 深入研究了此干散货堆场模型的合理性和工程适用性。

1 干散货码头堆场垛位随机动态模型

1.1 堆场垛位的动态变化

大型干散货码头堆场一般是由多个开阔的条形场地组成, 每条场地长约几十米到数百米, 宽约十几米到数十米。码头把干散货物连续堆放在一起形成一个近似圆锥形或方锥形的货堆, 称为一个垛。码头把不同品种、不同客户的干散货分开堆放, 形成不同的垛, 被称为分货种分客户的堆场管理策略^[3]。由于不同品种不同客户不同数

收稿日期: 2012-03-06

作者简介: 刘园香(1989—), 女, 硕士研究生, 从事港口物流系统建模与仿真研究。

量的大宗散货不断进出码头，堆场的垛位也处在不断的动态变化中。堆场的垛位动态变化是指堆场垛位的大小、数量和位置随着时间而不断的变化，表现为一种随机过程。

1.2 堆场垛位随机动态模型

1.2.1 堆场垛位动态变化的网格化描述

码头堆场的一条场地可以看作是一个长方体的空间，为了方便描述垛位的动态变化，把这个长方体的空间分成细小的、连续的空间网格，每一条场地的网格数一定，如图1所示。货物的品种和量决定了每个货垛占据的网格数量，每个网

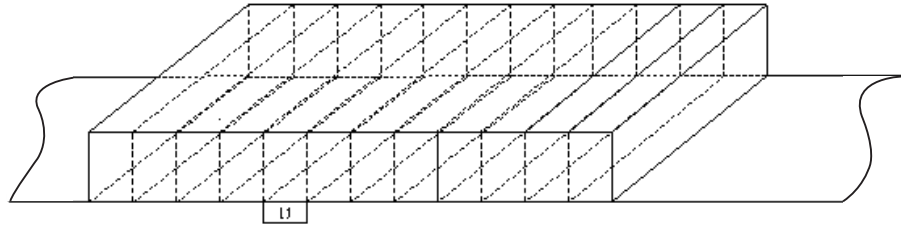


图1 干散货码头堆场的场地与细化网格

从上面的理论分析可知，采用网格描述干散货码头堆场的垛位动态变化是可行的。但要具体实施，就要确定网格的宽度。由于货种和客户的不同，垛与垛之间存在一条分隔带，称为垛间距，最小垛间距要保证一辆推耙机工作的最小宽度。根据JTJ 211—1999《海港总平面设计规范》，一辆推耙机工作的最小宽度取值范围在3~5 m，这样，网格的宽度就取最小垛间距，即 $3\text{ m} \leq L_1 \leq 5\text{ m}$ 。网格化方法^[4]如下：

- 1) 取网格宽度为码头堆场的最小垛间距 L_1 ；
- 2) 确定网格数量 m ：

$$m=L/L_1 \quad (1)$$

式中： L 为堆场的长度。

- 3) 根据码头堆场的堆存能力确定单个网格容量 Q ：

$$Q=T/m \quad (2)$$

式中： T 为每一条场地的堆存能力。

1.2.2 堆场垛位随机动态模型

干散货码头物流系统可看作一个有3个服务中心的排队网络^[5]。泊位装卸船、堆场存取货、火车装卸都是其中心的服务活动。在泊位，船舶是顾客，货物被集中组合与船成为一体；在堆场内，

格的状态分为占用或空闲。一艘干散货船舶的载质量一般在数万吨到数十万吨，而一列火车的载质量在数千吨到数万吨。这样，船舶的进出港可导致较多数量的网格状态变化，火车的进出港则导致较少数量的网格状态变化。一次货物的进出就有一定数量的网格状态发生变化。基于随机服务理论的思想，这里把码头堆场看作一个服务中心，网格看作服务台，货物在网格的堆存看作服务活动，一个网格容量的货物看作一个顾客。显然，无论陆运或水运，堆场的顾客是批量进出堆场。

货物被分解为批量顾客，分散处理；货物在堆场之外则被集中组合。分解和组合同步进行，干散货码头物流系统的排队网络实际上是一个特殊的Fork-Join排队网络，由于堆场是该排队网络内最复杂的服务中心，以下作重点分析。

由于同一客户品种的货物要放在同一条场地的连续的网格中，所以必须有 i 个连续的服务台同时空闲时，才能提供服务。记 m 个服务台中至少有 i 个连续的空服务台的概率为 H_i ，这个问题是一个特殊的0-1分布，假使服务台处于空闲和忙两种状态的概率均为0.5，则 m 个服务台中至少有 i 个连续的空服务台的概率。

$$H_i = \sum_{j=1}^{m-1} 0.5^j [1 + (m-j-1)0.5^2] + 0.5^m \quad (3)$$

对批输入Fork-Join排队系统考虑稳态的情况，设不同客户品种货物的到达间隔服从参数为 λ 的指数分布 $\exp(\lambda)$ ， μ 为服务台对顾客服务的服务率，货物成批到达，每批到达的批量数 ξ 是一个随机变量， ξ 的分布为：

$$P\{\xi = i\} = a_i \quad i = 0, 1, 2, \dots, \sum a_i = 1 \quad (4)$$

式中： a_i 为批量数为 i 的概率；每一条场地的网格数 m 即为服务台的个数。

对于任意一状态*i*(即场地上有*i*个网格被占用), 可由0,1,2, ..., *m*中的任意状态经一步转移, 同时也可以经过一步转移成1,2,3, ..., *i*-1中的任

意一状态, 设 P_{ij} (其中*i*=0,1,2, ..., *m*, *j*=0,1,2, ..., *m*)为状态*i*经一步转移到状态 *j*的概率, 则状态转移概率矩阵为:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} \lambda a_0 & \lambda a_1 H_1 & \lambda a_2 H_2 & \lambda a_3 H_3 & \cdots & \lambda a_i H_i & \cdots & \lambda a_m H_m \\ a_1 \mu & \lambda a_0 & \lambda a_2 H_1 & \lambda a_2 H_2 & \cdots & \lambda a_{i-1} H_{i-1} & \cdots & \lambda a_{m-1} H_{m-1} \\ a_2 \mu & a_1 \mu & \lambda a_0 & \lambda a_1 H_1 & \cdots & \lambda a_{i-2} H_{i-2} & \cdots & \lambda a_{m-2} H_{m-2} \\ a_3 \mu & a_2 \mu & a_1 \mu & \lambda a_0 & \cdots & \lambda a_{i-3} H_{i-3} & \cdots & \lambda a_{m-3} H_{m-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_j \mu & a_{j-1} \mu & a_{j-2} \mu & a_{j-4} \mu & \cdots & \lambda a_{i-j} H_{i-j} & \cdots & \lambda a_{m-3} H_{m-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_m \mu & a_{m-1} \mu & a_{m-2} \mu & a_{m-3} \mu & \cdots & a_{m-i} \mu & \cdots & \lambda a_0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中*i*>*j*。

当系统达到平衡状态时, 对任一状态*i*来说, 单位时间内进入该状态的平均次数和单位时间内离开该状态的平均次数应该相等, 即流入=流出, 那么可求系统任意状态*i*的稳态平衡方程:

$$(\lambda \sum_{j=1}^m a_j H_j) P_i = \sum_{j=1}^m a_j \mu P_j \quad i=0 \quad (5)$$

$$(\lambda \sum_{j=1}^m a_j H_j + \lambda \sum_{j=1}^1 a_j \mu) P_1 = \sum_{j=1+1}^m a_{j-1} \mu P_j + \lambda \sum_{j=0}^{1-1} P_j H_{1-j} a_{1-j} \quad i=1 \quad (6)$$

$$(\lambda \sum_{j=1}^{m-2} a_j H_j + \lambda \sum_{j=1}^2 a_j \mu) P_2 = \sum_{j=2+1}^m a_{j-2} \mu P_j + \lambda \sum_{j=0}^{2-2} P_j H_{2-j} a_{1-j} \quad i=2 \quad (7)$$

由公式(4)~(6)可推导出任意状态*i*的平衡方程为

$$(\lambda \sum_{j=0} a_j H_j + \sum_{j=1} a_j \mu) P_i = \sum_{j=i+1} a_{j-1} \mu P_j + \lambda \sum_{j=0}^{i-1} P_j H_{i-j} a_{i-j} \quad 0 < i \leq 1 \quad (8)$$

式中: P_i 为系统中有*i*个网格被占用的概率, 全概率

公式 $\sum P_i = 1, i = 0, 1, 2, \dots, m。$

该数学模型是码头堆场状态达到平衡时的概率方程, 可定性分析堆场垛位动态变化的机理, 是一种理论分析的结果, 但方程的求解非常困难, 对码头的主要影响因素、结构、机制、规律等也不能深入揭示, 无法定量分析堆场垛位变化、设备利用率、码头通过能力等物流系统的参数指标。为了深入研究这些问题, 在堆场垛位动态数学模型基础上, 研究建立基于堆场细化网格的仿真模型, 并进行试验分析。

2 干散货码头生产物流仿真模型与应用对比

过去的码头生产物流系统的仿真模型对堆场的描述简化太多, 是一种堆场粗粒度描述的模型, 其研究的重点不在堆场, 而堆场网格化仿真模型则对堆场精细描述。下面结合国内某大型煤炭码头相关数据进行仿真分析, 验证网格化仿真模型的精确性和工程适用性。国内某大型煤炭码头有3台翻车机, 6台堆料机, 5台取料机, 2个10万吨级、2个16万吨级的泊位, 10条场地, 码头2010年实际作业时间为360 d, 该码头实际生产数据见表1。

表1 某大型煤炭码头不同模型的仿真试验数据与实际作业数据

模型	参数指标	吞吐量/t	船舶数量/只	堆场日均利用率	船舶平均等待	火车平均等待	翻车机利用率	装船机利用率
				%	时间/min	时间/min	%	%
细化网格模型	均值	64 578 141	1 164	66.89	2 515.34	622.24	42.5	56.77
	标准差	93 209.41	1.55	0.12	2.78	0.99	0.58	0.78
粗粒度仿真模型	均值	55 802 270	1 100	52.93	2 814.43	555.56	38.0	47.71
	标准差	222 602.02	3.74	1.51	16.99	10.67	2.16	1.59
实际生产结果		64 378 231	1 160	66.00	2 560.12	659.73	41.0	39.00

注: 表中数据是经过多次仿真试验的统计值。

2.1 基于堆场粗粒度描述的仿真模型

1) 模型描述: 堆场的粗粒度仿真模型是指每条场地的垛位数和垛位大小固定不变, 每一条场地分为10垛, 每垛的容量为4万t, 一船煤炭可占用1~2垛, 采用分客户分品种的堆放策略, 先到先

服务的的原则。

2) 试验参数: 基于国际先进的工业流程仿真软件witness, 以该煤炭码头的相关资料及数据为依据建立仿真模型^[5], 并进行仿真试验。仿真模型如图2。

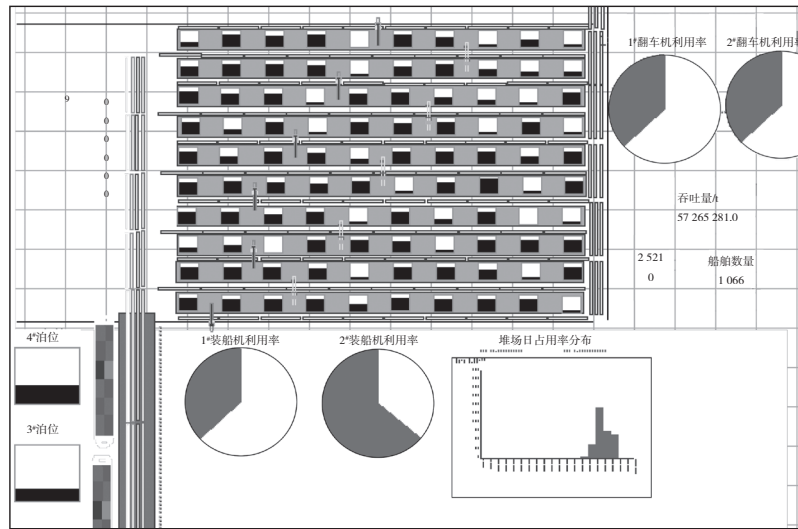


图2 干散货码头物流系统的粗粒度堆场仿真模型

2.2 基于堆场细化网格的仿真模型

1) 模型描述: 根据前面的堆场网格化方法, 建立堆场网格化模型, 通过智能搜索函数, 按照堆场的排列顺序依次对整个堆场进行扫描, 记录没有被占用的网格的位置、堆存量等信息, 并计算出各个连续空闲的堆场网格区域的总容量, 根据即将进堆场的货物量, 确定预堆存区,

再采用最大空间剩余法的堆存策略, 选定最合适的堆存区, 并将这些网格标志为1 (即为占用状态), 等网格内货物清空时, 状态发生改变, 标志为0, 可为下一次即将到来的货物所利用。

2) 仿真模型的其他部分及试验条件与粗粒度仿真模型相同。仿真模型见图3。

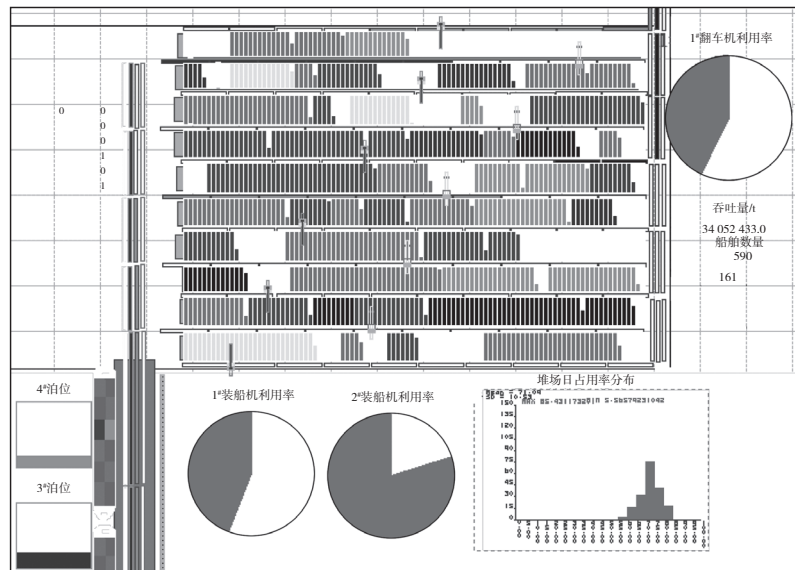


图3 干散货码头物流系统的网格堆场仿真模型

在图2所示模型中, 很多被占用的垛位有1/3都没有装满, 又不能用来存放其它品种的货物, 只有当一整个大垛的货物均运出后, 垛位的状态才由占用变为空闲, 显然, 该模型对堆场变化的刻画比较粗糙; 但在网格化模型中, 几乎被占用的网格都是满的, 只要某一网格的货物运出, 则网格的状态就及时发生改变, 实时反映垛位的状态变化, 以便为将要进场的货物提供预分配空间, 细化网格模型对堆场的刻画更加具体、更加细致。

2.3 试验数据分析与模型比较

仿真试验是以一系列条件为基础的, 所以仿真结果与实际结果有一定的偏差。从表1中的数据对比可看出, 以码头系统主要生产指标为对比依据, 两种仿真模型的各项统计值与实际的相差不大, 网格化模型和粗垛位模型的仿真数据与实际的接近度分别为99.7%和86.7%, 所以这两个模型具有一定的正确合理性。从多次仿真数据结果的标准差看, 网格化模型仿真数据的偏差远小于粗粒度仿真模型的偏差, 即网格化模型的波动性很小; 同时, 网格化模型的码头的吞吐能力、堆场、各机械设备的利用率等仿真数据与实际生产结果更接近。因此, 网格化仿真模型更接近实际。

2.4 细分网格化模型在研究堆场堆存策略上的适用性

细分网格化仿真模型, 基于它对堆场的精细描述, 垛位数和垛位的大小随着进场干散货的信息实时变化。网格化模型从结构细节上与实际情况十分接近, 不仅深刻细致地描述了堆场垛位的动态变化, 而且还可以通过此模型来研究码头堆场的管理策略, 比如:

1) 最小空间剩余法, 即从各条形场地中, 搜寻某一空闲区域堆放靠泊船舶的干散货, 使得堆放后的剩余连续空间最小。

2) 最大空间剩余法, 即从各条形堆场中, 搜寻某一空闲区域堆放靠泊船舶的干散货, 使得堆放后的剩余连续空间最大。

从细分网格化仿真模型的结构和作用看, 显然能够描述上面2个堆场管理策略的实施过程和堆场细节变化; 而粗粒度垛位的模型就不具备这种

作用。

粗粒度仿真模型简单地把堆场划分为若干固定数量和大小的大垛, 进场煤炭所占堆场空间大小并不直观, 仿真模型中对垛位占用状态的判断不及时; 而堆场网格化后, 每垛煤炭的容量大小及所占堆场空间很直观, 且每一条形堆场的垛位数随着进场煤炭的信息实时变化, 对垛位的占用状态通过控制每个网格的占用状态来实现, 更及时、准确。所以网格化仿真模型不仅更接近实际, 而且具有一定的工程应用优势, 能更深刻地分析堆场堆存策略问题, 进而改善港口码头的运营策略。

3 结语

基于随机服务理论, 本文采用连续空间的网格化逼近方法, 建立码头堆场垛位动态变化数学模型, 并进一步建立了堆场垛位变化的仿真模型, 进行了码头物流系统的仿真试验分析。仿真试验结果表明细化网格堆场模型较粗粒度模型更贴近实际, 可实时量化模拟堆场垛位大小、位置、数量的变化, 可深入研究码头堆场管理的具体实施策略, 揭示码头物流系统的潜在瓶颈, 改进码头规划设计方案或运营策略。干散货码头堆场细化网格模型具有较高的工程技术价值。

参考文献:

- [1] Dingena L Schott, Gabriël Lodewijks. Analysis of dry bulk terminals: Chances for exploration[J]. Particle & Particle Systems Characterization, 2007(24): 375-380.
- [2] Dayong Hu, Zhenqiang Yao. Stacker-reclaimer scheduling for raw material yard operation[C]. Xi'an: Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence, 2010: 25-27.
- [3] 黄国梁. 散货码头物流系统建模与仿真[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007: 102-116.
- [4] 余艳英. 基于堆场网格化的专业煤炭码头物流系统仿真模型[J]. 水运工程, 2011(8): 52-55.
- [5] 王亚超, 马汉武. 生产物流系统建模与仿真——Witness 系统及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 70-143.

(本文编辑 武亚庆)