

土石坝施工运输系统元胞自动机模糊仿真模型研究

陈先明¹, 肖焕雄²

(1. 中国长江三峡开发总公司工程建设部, 湖北 宜昌 443002; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要:针对土石坝施工运输系统存在的模糊性以及传统的仿真方法难以将时间、空间和系统行为有机地结合起来的缺陷,提出了基于元胞自动机模型的施工运输系统的模糊仿真方法.用离散型模糊分布取代传统的概率分布以适应实际数据较少或系统参数概率分布难以确定的场合,并充分利用现场知识和经验,用元胞自动机模型描述土石坝施工运输系统,将运输系统的时间、空间和系统行为有机地联系在一起,形象、直观、精确地完成运输系统的仿真.

关键词:土石坝;运输系统;模糊仿真;元胞自动机

中图分类号:TV512;TV641

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2002)01-0015-03

在土石坝施工过程中,运输系统起到了重要的作用.模拟土石坝施工运输系统是为了有效地对该系统进行组织协调,并确定其有关最优配置参数.在仿真方法方面,传统的运输系统仿真是基于蒙特卡罗原理的随机仿真方法,这种仿真技术是一种在纯数学的环境下进行的假象仿真,无法将运输系统的时间、空间和系统行为有机地联系在一起,无法形象、直观和动画式地观察运输系统的整个仿真过程.

在系统分析方面,传统仿真方法的主要注意力放在随机性方面,并用纯随机的方法对运输系统进行仿真.事实上,运输系统还与模糊性有重要联系.这种模糊性主要表现在两方面:①运输系统中有人进行各种干预活动,主观因素将使系统具有模糊性;②运输系统非常复杂,人们对该系统的认识只处于部分定量的程度.

针对上述两方面的情况,本文提出基于元胞自动机模型的土石坝施工运输系统模糊仿真方法^[1],以取代传统的蒙特卡罗仿真方法,并以自卸汽车-装载机运输系统为例来描述仿真模型的建立.

1 运输系统描述方法

设有一个 $N \times M$ (长 $\times$ 宽) 的方形网格,且能覆盖整个土石坝施工运输系统.由于汽车行走路线是线形的,当运输线路用一连串正方形格子表示时,格子边长大小要能较好地拟合运输线路^[2],如图 1 所示,图中 AB 为汽车行走线路.

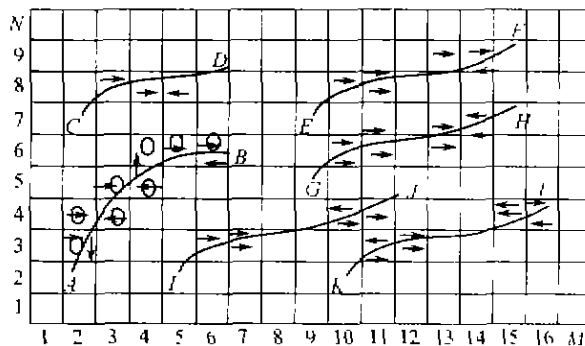


图 1 元胞自动机运输线路表示

1.1 系统状态描述

a. 箭头状态及其监控参数.箭头在每个格子上移动,可取 3 种状态:①有一个箭头(向上、向下、向右或向左);②有两个箭头(一上一下、同时向上或向下、一左一右、同时向左或向右);③无箭头(空格).每个箭头有 5 个监控参数:所在位置、累计运行时间、运送物料性质或空车、箭头类型(相当于车型)、行走速度.

b. 装载机状态.装载机状态用 4 个参数描述:所在位置、工作性质(物料的种类)、装载机类型、累计工作时间.

c. 系统总状态.系统总状态用 2 个参数描述:各种物料的总量、工作总时间.

d. 格子(路面)状态.格子状态用两个参数描述:格子坐标、双行或单行.

显然,运输系统还存在其他因素及其运行状态,

作者简介:陈先明(1969—),男,湖南浏阳人,高级工程师,博士,主要从事水电工程施工决策支持系统研究和项目管理工作.

但由于对仿真影响不大,故不予考虑。

1.2 箭头移动规则

a. 对于单行到单行格子段,若前方格子有其他同向箭头占据,则该箭头只能等待,不能移动;若前方格子有其他相向箭头占据,这时发生堵车,如图 1 中的 CD 线路。

b. 对于双行到双行格子段,后方箭头只有一个,若前方格子有两个同向箭头或两个相向(一个同向、一个相向或两个均相向)箭头占据,则后方箭头只能等待,不能移动,如图 1 中的 EF 线路。

c. 对于双行到双行格子段,后方有两个同向箭头,若前方有两个同向箭头或异向(一个同向、一个相向)箭头,则后方箭头和前方相向箭头等待,不能移动;若前方箭头均相向,则发生堵车,如图 1 中的 GH 线路。

对于双行到双行格子段,后方有两个异向箭头,若前方有两个同向箭头或一个同向一个相向箭头或两个均相向箭头,则后方同向箭头和前方相向箭头等待,不能移动,如图 1 中的 KL 线路。

d. 对于单行到双行过渡段,如箭头从单行格到双行格,则箭头移动规则同 b。

e. 若箭头从双行格到单行格,如后方箭头只有一个,则箭头移动规则同 a;如后方箭头有两个同向箭头或两个异向箭头,则后方同向箭头等待,不能移动;如后方箭头均同向,且前方箭头相向,则发生堵车,如图 1 中的 IJ 线路。

f. 对于处于等待的箭头,若在同一时间步内前方箭头已移动,后方箭头也不能移动。

g. 对于两个同向箭头,若后方箭头无法超越,则两个箭头间距应保持安全间距,否则后方箭头等待。

1.3 箭头移动时间步

时间步为箭头移动一格所需时间,用 Δt 表示。时间步为元胞自动机的时钟,系统中所有的设备工作均以此时间步为单位。

1.4 箭头移动路线记录方法

由于施工运输线路在一般情况下是确定的,箭头只能在这些确定的格子上运行,因此必须记录运输线路。运输线路按运行方向可用下列坐标序列表示:

$$\{x_1^k(\delta), y_1^k(\delta)\}, \{x_2^k(\delta), y_2^k(\delta)\}, \dots, \{x_{M_k(\delta)}^k(\delta), y_{M_k(\delta)}^k(\delta)\} \quad (1)$$

式中: $\{x_i^k(\delta), y_i^k(\delta)\}$ 为第 k 条运输线路的第 i 个格子的坐标; $M_k(\delta)$ 为第 k 条运输线的长度,即格子总数目; $\delta = +A$ 表示正向运输线路; $\delta = -A$ 表示逆向运输线路, $A = 1, 2, \dots, nm$ 表示所运的不同物料, nm 为物料种类总数。

所有运输线路交叉点坐标集合为

$$J = \{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_m, Y_m)\} \quad (2)$$

式中: (X_i, Y_i) 为交叉点 i 的坐标; m 为施工运输线路总交叉点数; J 为交叉点坐标集合。

2 运输系统仿真规则

2.1 箭头择路规则

在运输线路交叉点,存在箭头择路问题。择路规则如下:

a. 队长最短择路规则(第一原则)。当箭头处于交叉点时,首先检验运行目的地箭头排队长度,队长最短的目的地就是该箭头运行路线。

b. 运行线路最短择路规则(第二原则)。当同时存在多个可选最佳目的地时,第二个要检验的是各可选最佳目的地离箭头当前所在位置的距离,距离最短者即为最佳行走路线。

c. 按运送物料性质择路规则(正向强制性原则)。当正向运行且箭头所运物料为第 i 种物料时,择路目的地为第 i 种物料的卸料点。当存在多个可选目的地时,箭头择路规则仍服从第一、二原则。

d. 物料需量控制择路规则(第一逆向强制性原则)。当逆向运行时,箭头还应按系统状态选择行走路线,一个可用的原则就是物料需量控制原则,即某种物料已经不需要时,则不选择前往存有该物料的料场所行走的路线。

e. 料场储量控制择路规则(第二逆向强制性原则)。当逆向运行时,另一个可用的择路原则就是料场储量控制原则,即某料场无储量时,则不选择前往该料场的路线。

2.2 队长演变规则

在运行目的地,一般存在箭头排队现象,这时队长演变规则为

$$Lk(\delta) = \begin{cases} Lk(\delta) + 1, & \text{有一箭头到达而无一箭头换向} \\ Lk(\delta), & \text{无箭头到达且无箭头换向} \\ & \text{或有一箭头到达且有一箭头换向} \\ Lk(\delta) - 1, & \text{无箭头到达但有一箭头换向} \end{cases} \quad (3)$$

2.3 箭头换向规则

在目的地,当装载机装车完成或汽车卸载完成或装载机、卸载设施损坏,则箭头应改变运行方向。原来由正向运行改为逆向运行,反之亦然。由于目的地装载机装车或汽车卸载时间是模糊的,其分布难以确定,因此需按离散型模糊分布来产生箭头换向时间步。

对装车箭头来说($\delta = -i$),假设装车时间实际数据为

$$\begin{cases} Q_1^q(s) = \{u_1^q(s), u_2^q(s), \dots, u_{N_1}^q(s)\} \\ p[u_i^q(s)] = 1/N_1 \\ \text{若 } i < j, \text{ 则 } u_i^q(s) < u_j^q(s) \end{cases} \quad (4)$$

式中: N_1 是装车时间实际数据个数; $u_i^q(s)$ 是实际装车时间步, 箭头类型为 s , 铲型为 q . 关于装车时间的现场经验服从正态型隶属函数:

$$\begin{cases} \mu_{k1}^q(u) = e^{-\beta^q(u - u_k^q(s))^2} \\ u_{k-1}^q(s) \leq u \leq u_{k+1}^q(s) \\ u_0^q(s) = -u_2^q(s) + 2u_1^q(s) \\ u_{N_1+1}^q(s) = 2u_{N_1}^q(s) - u_{N_1-1}^q(s) \\ k = 1, 2, \dots, N_1, \beta = 0.5 \sim 2.5 \end{cases} \quad (5)$$

式(4)和式(5)构成装车时间离散型模糊分布. 由式(4)和式(5)采用模糊数学方法在充分利用现场经验和现场实际观测数据的基础上, 精确确定箭头类型 s 的装车时间步, 假定对电铲 q 来说, 其对箭头类型 s 的装车时间步为 $n_1^q(s)$, 则表明第 q 个装载机作业点装车箭头 s 需等待 $n_1^q(s)$ 个时间步后换向.

对卸载箭头来说($\delta = +i$), 假设卸载时间实际数据为

$$\begin{cases} Q_2^p(s) = \{u_1^{2p}(s), u_2^{2p}(s), \dots, u_{N_2}^{2p}(s)\} \\ p[u_i^{2p}(s)] = 1/N_2 \\ \text{若 } i < j, \text{ 则 } u_i^{2p}(s) < u_j^{2p}(s) \end{cases} \quad (6)$$

式中: N_2 为卸载时间实际数据个数; $u_i^{2p}(s)$ 为实际卸载时间步, 箭头类型 s , 卸载点为 p .

卸载时间的现场经验服从尖 Γ 型隶属函数:

$$\mu_{2k}^p(u) = \begin{cases} e^{\beta^p(u - u_k^{2p}(s))}, u_{k-1}^{2p}(s) \leq u \leq u_k^{2p}(s) \\ e^{-\beta^p(u - u_k^{2p}(s))}, u_k^{2p}(s) \leq u \leq u_{k+1}^{2p}(s) \\ k = 1, 2, \dots, N_2 \end{cases} \quad (7)$$

式(6)和式(7)构成卸载时间离散型模糊分布. 由式(6)和式(7)采用模糊数学的方法在充分利用现场经验和现场实际数据的基础上, 精确确定箭头类型 s 在卸载点 p 的卸载时间步, 从而可确定其换向时间.

2.4 装载量演变规则

汽车装载量离散型模糊分布为

$$\begin{cases} Q_a^f(s) = \{u_1^f(s), u_2^f(s), \dots, u_{N_a}^f(s)\} \\ p[u_i^f(s)] = 1/N_a \\ \text{若 } i < j, \text{ 则 } u_i^f(s) < u_j^f(s) \\ \mu_{ak}^f(u) = \{1 + \beta^f[u - u_k^f(s)]^2\}^{-1}, \\ k = 1, 2, \dots, N_a \\ u_0^f(s) = 2u_1^f(s) - u_2^f(s) \\ u_{N_a+1}^f(s) = 2u_{N_a}^f(s) - u_{N_a-1}^f(s) \end{cases} \quad (8)$$

式中: $u_k^f(s)$ 为第 f 个装载机作业点箭头类型 s 的第 a 种填料的实际运输量.

通过仿真计算可以得到很多参数, 如箭头平均速度、系统平均速度、车流密度等, 有关计算可参考文献[3]进行.

3 结 语

利用本文提出的方法, 参照三峡工程二期土石围堰的施工经验, 对三峡工程三期截流及土石围堰施工运输系统进行了模糊仿真分析, 取得了满意的效果.

本文提出的元胞自动机模糊仿真方法比传统的蒙特卡罗仿真方法更具有优越性. 该方法不仅能将时间、空间和系统行为结合起来, 而且能同时综合应用其他控制技术与优化方法, 能综合利用定性经验和实际数据, 因而可在非常精确的条件下完成对运输系统的仿真.

参考文献:

- [1] 李元香, 康立山, 陈毓屏. 格子气自动机[M]. 北京: 清华大学出版社; 南宁: 广西科学技术出版社, 1994.
- [2] 顾国庆, 范炳全, 许伯铭. 交通系统的元胞自动机模型[J]. 系统工程理论方法应用, 1995, 4(1): 12~17
- [3] Bigham O, Middleton A A, Levine D. Self-organization and a Dynamic Traffic-flow Models[J]. Phys Rev, 1992(A46): 6124~6127. (收稿日期: 2001-04-29 编辑: 熊水斌)

·简讯·

中国国家电力公司 2001年再次入选全球500强企业

中国国家电力公司2000年首次入选全球500强企业. 在2001年美国《财富》杂志公布的2001年度全球500强企业中, 中国国家电力公司再次入选, 并从2000年的第83位跃升为第77位. 同期入选的还有我国的另11家企业, 名单见表1.

表1 中国进入全球500强的企业

序号	企业名称	2001年度排名	2000年度排名
1	中国石化集团公司	第68位	第58位
2	中国国家电力公司	第77位	第83位
3	中国石油天然气集团公司	第83位	
4	中国工商银行	第213位	第208位
5	中国电信集团公司	第228位	第236位
6	中国银行	第251位	第255位
7	中国化工进出口总公司	第276位	第307位
8	中国移动通信集团公司	第336位	
9	中国建设银行	第411位	第364位
10	中国粮油食品进出口公司	第414位	第413位
11	中国农业银行	第448位	第441位
12	中国香港怡和集团公司	第494位	第462位

(吴冀高供稿)