基于元胞自动机（或格子气模型、~~社会力模型~~）模型设计算法，利用博弈论谈讨论游客运动规律，利用蚁群算法（或PSO算法）同时考虑建筑平面布局进行优化。

1、游客数量在日、年的变化；（日、年的客流量变化，及相应的应对措施，考虑不通过区分时间，而是通过实时的客流量数据来调整应对措施，并考虑博物馆制定相应限制、监测人群密度分布的措施）

2、游客种类的多样性、弱势群体等；（人以群分，同时博物馆制定相应区分游客类群的措施，如语音翻译软件、老弱病残孕相应应急通道、工具等）

3、疏散的目标：让所有居住者尽可能快速安全地离开建筑物；（利用博弈论确定游客运动规律，利用元胞自动机模型计算）

4、金字塔入口是博物馆的主要和最常用的公共入口；（要考虑室内疏散游客和室外等候游客的拥挤、碰撞问题，同时可以假定游客在逃出博物馆后为自由个体，即不会影响室内未疏散游客的逃离）

5、还有三个其他入口通常为拥有博物馆会员资格的团体和个人预留：Passage Richelieu 入口，Carrousel du Louvre 入口和 Portes Des Lions 入口；（注意不同入口客流量情况及疏散条件，以安排应急人员和疏散人数的分配）

6、每个入口的估计等待时间的实时更新；（结合第1、2、7三点）

7、考虑如何使用技术，包括 Affluences 或其他应用程序来促进您的疏散计划；（因此除客观存在的条件，我们可以大胆假设自己需要的条件）

8、只有应急人员和博物馆官员知道实际可用出口点的总数（服务门，员工入口， 贵宾入口，紧急出口和君主制建造的旧秘密入口等）；

9、与四个主要入口处的安保水平相比，由于这些出口处的安全姿势较低或有限，它们的使用同时会引起安全问题；（当开放这些隐蔽的出口所带来的利益大于损失时才实施）

10、应该仔细考虑何时以及如何使用其他出口；

11、允许博物馆领导者探索一系列选项，以便从博物馆撤离访客，同时还允许应急人员尽快进入建筑物；

12、重要：找出可能限制出口移动的潜在瓶颈；

13、该模型可用于解决广泛的考虑因素和各种类型的潜在威胁，每种威胁都有可能改变或消除可能在单一优化路线中必不可少的安全路段；（故我们的模型应该有较大的适应性，即假设的条件是一般的、大众的，参数是可通过程序计算得到，而不是一定需要现场实验才能得到；同时安全路线应有多条且有较大富裕，并且安全路线尽量不要有交叉）

14、验证您的模型并讨论卢浮宫如何实施它；

15、根据您的工作成果，提出有关卢浮宫应急管理的政策和程序建议，包括对访客安全所必需的任何适用的人群管理和控制程序；

16、讨论如何为其他大型拥挤结构调整和实施模型。

拟假设条件：

1、博物馆方掌握实时的馆内游客总数，博物馆方在紧急事件发生后能立即组织游客疏散；

2、不同展厅的人流密度与相对受欢迎程度成正比关系，各展厅内人群均匀分布；

3、游客在疏散过程中运动速度与人流密度为负相关关系，选择相同出口的展厅之间人流密度比值不变，不考虑密度波、快即是慢效应、瓶颈摆动等；

4、疏散过程中，游客追求个人利益最大化，博物馆方追求整体利益最大化；

5、游客按博物馆方规定线路逃离，已逃离博物馆的人群不会干扰未疏散人群撤离；

6、残疾游客、VIP游客沿专用通道疏散，不占用其他游客疏散空间；

瓶颈定义

瓶颈一般指严重制约了系统产出的某种资源或设备。针对不同的应用要求和不同的生产经营方式,这些定义从不同角度描述了生产系统的瓶颈现象以及某个时期瓶颈所处的位置和状态。现有的生产系统瓶颈定义大致可归为以下三类[72]:

1)基于平均等待时间的定义

基于平均等待时间的定义,将生产系统中平均等待时间最长的机器界定为瓶颈。

是产品在第i个机器内的平均等待时间。根据Little法则:在一个稳定的排队系统中,平均顾客数量L等于顾客有效到达速率X与平均每个顾客在系统中花费的时间之乘积,即L = X<W,因此该瓶颈定义也等同于基于平均排队长度的定义。这种方法适用于分析有容量无限的缓冲区(即等待时间可以无限长)的排队网络,而对于只包含有限个缓冲区以及没有缓冲区的系统,该方法并不适用。

2)基于平均利用率的定义

基于平均利用率的定义,将生产系统中平均利用率最高的机器界定为瓶颈。

是第i个机器的利用率。，其中、分别是第i个机器的产品到达率和服务率。由于可能不止一台机器有类似的工作负荷,这些机器之间利用率的区别可能很小。虽然这个方法非常容易实现自动操作,但可能导致识别出多个瓶颈。

3)基于灵敏度的定义

基于灵敏度的定义瓶颈的方法就是找出自身的产出对整个系统的产出影响最大的机器,将机器自身参数扰动对系统整体生产率影响的灵敏度值最大的机器界定为瓶颈。

针对生产系统中的一条生产线,其生产率是由最后一个机器生产的平均数量决定的,它是一个关于所有机器和缓冲区参数的函数:

其中,是第i个机器之前的缓冲区,是机器的生产率。此时系统的瓶颈为:

基于灵敏度的生产系统瓶颈定义,充分考虑了机器自身的产能变化对于系统整体产能的影响,通过计算各机器的灵敏度值并对比,可找出制约生产系统产能的唯一瓶颈。该方法唯一的缺陷是系统整体产能关于各机器参数的函数不易获取,因而给各机器灵敏度值的计算带来了困难

根据约束理论,任何系统都存在约束,要提高系统的产出,必须打破系统的约束;任何系统都可想象成一个由一连串木板构成的木桶,而木桶盛水量的多少只取决于最短的那块木板。同时考虑到人群的流动性，我们先计算出各节点的利用率，其利用率较高者我们认定为潜在瓶颈，再通过计算假设条件下，单位时间实际通过人数与节点单位时间允许通过人数的比值，比值>1的节点为实际瓶颈，并由此优化我们设计的疏散路线。具体计算构成如下：

定义利用率较阈值高的地方为潜在瓶颈（需要考虑单位时间疏散人数吗？），具体来说：

在计算出个区域至出口的最佳路径后，计算重合点（或者说是相距小于平均身距0.45m的范围内的点）、交叉点，按通过人群数量计算得到利用率。

——0~t时刻通过i点的总人数；

根据上式计算出潜在瓶颈，并由此优化疏散路线（即尽可能减少潜在瓶颈数量）。

当时为潜在瓶颈，由具体交通条件决定；

对于潜在瓶颈，认为通过能力低的节点为实际瓶颈，具体来说：

——i点单位时间到达人数，可以认为是理想状态下（即不考虑人群阻塞）单位时间经过i区域的人数，可以在我们计算得到各节点疏散的最佳路径后（优化后），与i节点相交的所有线路的单位疏散人数之和；

——i点单位时间允许通过人数；

付婷.城市轨道交通车站集散能力瓶颈识别[D].北京:北京交通大学,2014.

2. 2 Fruin 模型

2. 2. 1 平直通道上的移动速度

对于平直通道上的单向流动，当人流密度 0.2人/m2≤D≤4.0 人/m2时，水平通道上的移动速度表达式见式(4)。

vL= 1.427 － 0.3549D (4)式中，D 为人员密度，人/m2。

单位流率 fL与人流密度 D 之间的关系见式(5)。

fL= 1．427D － 0.3549D2(5)

当人流密度为2人/m2，水平通道单位有效宽度流率达到最大，其值为 1.43 人/s/m，移动速度为0.72m / s。

2. 2. 2 沿楼梯上、下行移动速度

沿楼梯下行移动速度vD的计算式见式(6)

vD= 0．6502 － 0．0972D (6)

单位流率 fD与人流密度D 的关系式见式(7)

fD= 0．6502D － 0.0972D2(7)

以上两式的适用范围为 0.2 人/m2≤D≤ 6.7人/m2。当人流密度为 3.3 人/m2，沿楼梯下行单位有效宽度流率达到最大，其值为 1.09 人/s/m，此时移动速度为 0.325m/s。

2. 沿楼梯上行移动速度 vU

vU= 0．564 － 0．0765D (8)

单位流率 fU与人流密度 D 的关系式见式(9)。

fU= 0．564D － 0．0765D2(9)

以上两式的适用范围为 0.2 人/m2≤D≤ 6.7人/m2。当人流密度为 3.7 人/m2，沿楼梯上行单位有效宽度流率达到最大，其值为 1.04 人/s/m，此时移动速度为 0.28 m/s。

李俊梅，胡 成，李炎锋，刘闪闪，许 鹏. 不同类型疏散通道人群密度对行走速度的影响研究[J],建筑科学,2014,30(8):124.

2.1 人员疏散中的典型现象

宏观上来看，群体的疏散过程就是由许多个个体与周围环境之间、与其他个体之间相互作用而形成的群体整体所呈现出来的运动现象[43]。疏散过程中个体的心理和行为对其疏散路线的选择策略、疏散所需时间有非常重要的影响，所以理解个体的心理和行为对提高疏散效率有重要的作用。常见的群体典型疏散行为特征有以下几种：

1、从众现象

在群体疏散过程中，个体由于群体的压力或影响改变其原有的行走策略

转为和大多数个体相同的行走策略，即为从众现象，也称随大流行为或羊群行为（following the crowd）[44]。一定程度上，这种盲目从众行为是不理智的。

2、瓶颈拱形现象[45]

如果人群具有相同的目标方向，疏散开始时，人群个体的运动方向都是直行通向出口处的，出口处的人员密度逐步增加。随着这个过程的持续，出口处的人流通行能力达到饱和。此时，个体根据实际情况需要寻找其他的替代方向。个体选择新方向的过程中，依然希望能到达尽量距离出口最近的位置。圆形的圆心到这个圆上每一点的距离都是一样的，并且由于出口处通行能力的限制，所以当更多期望距离出口最近的个体到达出口处时，聚集在出口的人群便形成了类似圆形的排布。

3、快即是慢效应[50]

当出口处人群密度较高时，群体所需的疏散时间会随着个体速度的加快先缩

短后增长。由于个体之间行为不能统一，若部分若个体加快速度，则出口处个体间的相互摩擦、干扰增强，导致总体前行的阻力增大，使出口处的人群疏散效率降低，即快即是慢效应。因而人群疏散过程中，个体不能盲目加快速度，应该有序前行，保证稳定的人群疏散效率。

3 博弈论方法

3.1 博弈论理论

博弈论（Game theory）主要是研究存在竞争情况下的决策主体的行为相互影响时各参与者的决策及决策均衡的理论。游客疏散过程是期望以最短时间（距离）到达目标地点的个体面对空间竞争时周围个体做出抢行、避让、绕行的不同选择时带给自身、整体的不同影响及优化自身选择的过程。由于疏散空间的限制，造成空间的稀缺性，个体向目标地点靠近的过程实质上是一个具有竞争性质的阶段。博弈论可以将决策的过程完整展示出来，这样能很好地解释人员个体选择行走策略的心理作用过程，更贴合实际的疏散过程中心理作用的重要影响。

若要利用博弈论分析该问题，还必须满足博弈论的三个基本要素：

由图?-?可知，该问题符合博弈的三个基本要素，可以用博弈论用来描述现实竞争问题。

根据人体工程学理论[150],人体可以被看作是长轴为61cm,短轴为45.6cm的椭圆体。在拥挤的条件下，我们可以把人体在垂直于地面的投影面积简化为半径为r=0.45m的圆形。考虑最可能出现的博弈情况有二人博弈、三人博弈、四人博弈，如图？-？。并做以下假定：

1、每个圆形只能代表一名参与者，虚线圆圈表示尚未被占据，可由相邻圆形“绕行”占据，实线圆圈表示各参与者的竞争对象，其圆心到目标地点（星号表示）距离为d；

2、各参与者至多有“抢行”“让行”“绕行”三种策略，彼此紧密相邻，表现为各圆形相切，

3、各参与者移动速度相同，且一次博弈只能移动二倍半径即2r或不移动；

4、个体收益以i号参与者在博弈前后距目标地点的距离差表示，即：

个体收益Pi= Li博弈后-Li博弈前；

群体收益为个体收益之和，即：P总=sum（P1,P2……Pn）

由假设4可知，参与者的收益不仅与各参与者的决策有关，还与d/r有关。下面，不失一般性的可取d/r=2，即d=0.90m计算各情况下的个体收益与群体收益。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 二人博弈收益表 | | | |
| A | | Q | R | # |
| B | Q | (0,0)|0 | (0,0.66)|0.66 | (0.29,0.66)| 0.95 |
| R | (0.66,0)|0.66 | (0,0)|0 | (0.29,0)| 0.29 |
| # | (0.66,0.29)|0.95 | (0,0.29)|0.29 | (0.29,0.29)| 0.58 |

注：分别用Q\P\#表示抢行、让行、绕行，下同

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 二人博弈收益表 | | | |
| A | | Q | R | # |
| B | Q |  |  |  |
| R |  |  |  |
| # |  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 二人博弈收益表 | | | |
| A | | Q | R | # |
| B | Q |  |  |  |
| R |  |  |  |
| # |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 三人博弈收益表 | | | | | | | | | |
| A | | Q | | | R | | | # | | |
| B |  | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # |
| C | Q | (0,0,0) | (0,0,0) | (0,0.66,0) | (0,0,0) | (0,0,0.90) | (0,0.66,0.90) | (0.66,0,0) | (0.66,0,0.90) | (0.66,0.66,0.90) |
|  | 0 | 0 | 0.66 | 0 | 0.9 | 1.56 | 0.66 | 1.56 | 2.22 |
| R | (0,0,0) | (0.66,0,0) | (0.66,0.66,0) | (0,0.66,0) | (0,0,0) | (0,0.66,0) | (0.66,0.66,0) | (0.66,0,0) | (0.66,0.66,0) |
|  | 0 | 0.66 | 1.32 | 0.66 | 0 | 0.66 | 1.32 | 0.66 | 1.32 |
| # | (0,0,-0.58) | (0.66,0,-0.58 | (0.66,0,0.24) | (0,0.66,0.24) | (0,0,0.24) | (0,0.66,0.24) | (0.66,0.66,0.24) | (0.66,0,0.24) | (0.66,0.66,0.24) |
|  | -0.58 | 0.08 | 0.9 | 0.9 | 0.24 | 0.9 | 1.56 | 0.9 | 1.56 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 三人博弈收益表 | | | | | | | | | |
| A | | Q | | | R | | | # | | |
| B |  | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # |
| C | Q |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| R |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| # |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 三人博弈收益表 | | | | | | | | | |
| A | | Q | | | R | | | # | | |
| B |  | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # |
| C | Q |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| R |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| # |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

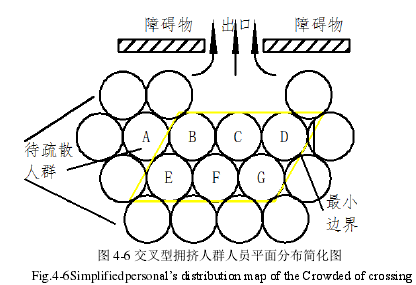
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | | 四人博弈收益表 | | | | | | | | | | | |
| A | | Q | | | | | | R | | | | | |
| B | | Q | | | R | | | Q | | | R | | |
| C | | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # |
| D | Q | 0,0,0,0 | 0,0,0,0 | 0,0,-0.58,0 | 0,0,0,0 | 0,0,0,0 | 0,0,-0.58,0 | 0,0,0,0 | 0,0,0,0 | 0,0,-0.58,0 | 0,0,0,0 | 0,0,0,0.90 | 0,0,0,0.90 |
|  | 0 | 0 | -0.58 | 0 | 0 | -0.58 | 0 | 0 | -0.58 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| R | 0,0,0,0 | 0,0,0,0 | 0,0,-0.58,0 | 0,0,0,0 | 0.66,0,0,0 | 0.66,0,-0.58,0 | 0,0,0,0 | 0,0.66,0,0 | 0,0.66,-0.58,0 | 0,0,0.90,0 | 0,0,0,0 | 0,0,-0.58,0 |
|  | 0 | 0 | -0.58 | 0 | 0.66 | 0.08 | 0 | 0.66 | 0.08 | 0.9 | 0 | -0.58 |
| # | 0,0,0,-0.58 | 0,0,0,-0.58 | 0,0,-0.58,-0.58 | 0,0,0,-0.58 | 0.66,0,0,-0.58 | 0.66,0,-0.58,-0.58 | 0,0,0,-0.58 | 0,0.66,0,-0.58 | 0,0.66,-0.58,-0.58 | 0,0,0.90,0 | 0,0,0,-0.58 | 0,0,-0.58,-0.58 |
|  | -0.58 | -0.58 | -1.16 | -0.58 | 0.08 | -0.5 | -0.58 | 0.08 | -0.5 | 0.9 | -0.58 | -1.16 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | | 四人博弈收益表 | | | | | | | | | | | |
| A | | Q | | | | | | R | | | | | |
| B | | Q | | | R | | | Q | | | R | | |
| C | | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # |
| D | Q |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| R |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| # |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

[44]Low D J, Helbing D. Following the crowd.Nature,2000,407(6803):465-466.

[45]Helbing D,I. Farkas, and T. Vicsck, Simulating dynamical features of escape panic.Nature,2000.407(6803):487-490

[150]许婷.城市轨道交通枢纽乘客心理微观作用研究[D].北京:北京交通大学,2008.



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | 二人博弈收益表 | | | |
| A | | Q | R | # |
| B | Q | 0,0 | 0,lb-lc | La-ld, la-lc |
| R | La-lc,0 | 0,0 | La-ld,0 |
| # | la-lc, La-ld | 0, La-ld | La-ld, La-ld |

La=……

Lc=d

Ld=……

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参与者 | | 三人博弈收益表 | | | | | | | | |
| A | | Q | | | R | | | # | | |
| B | | Q | R | # | Q | R | # | Q | R | # |
| C | Q | 0,0,0 | 0,0,0 | 0，a-e，0 | 0，0,0 | 0,0,2r | 0，a-e，2r | a-e，0,0 | a-e,0，2r | a-e，a-e，2r |
| R | 0,0,0 | a-d,0,0 | a-d,a-e,0 | 0,a-d，0 | 0,0,0 | 0,a-e,0 | a-e，a-d,0 | a-e，0,0 | a-e，a-e,0 |
| # | 0,0,c-f | a-d,0,c-a | a-d,a-e,c-a | 0,a-d,c-a | 0,0,c-a | 0,a-e,c-a | a-e，a-d，c-a | a-e，0，c-a | a-e，a-e，c-a |

La=……

Lc=d+2r

Ld=d

Le=……

Lf=……

La=……

Lc=……

Le=d

Lf=……

**A**

**B**

d

**C**

**DD**