



(12)发明专利申请

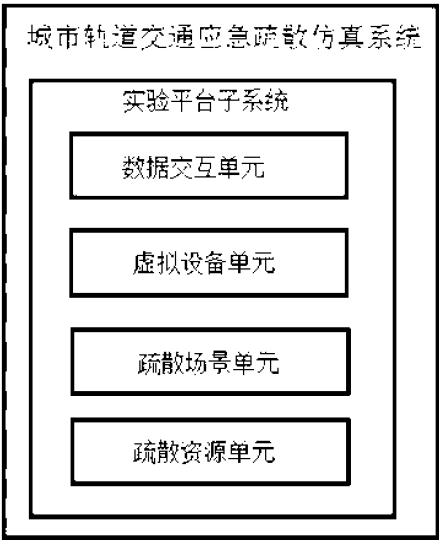
(10)申请公布号 CN 109598076 A
(43)申请公布日 2019. 04. 09

(21)申请号 201811503000.8
(22)申请日 2018.12.10
(71)申请人 北京交通大学
地址 100044 北京市海淀区西直门外上园村3号
(72)发明人 王子甲 陈峰 高永鑫 朱亚迪 李润法
(74)专利代理机构 北京市诚辉律师事务所 11430
代理人 范盈
(51)Int.Cl.
G06F 17/50(2006.01)

权利要求书1页 说明书12页 附图14页

(54)发明名称
一种城市轨道交通应急疏散仿真系统及方法

(57)摘要
本申请属于城市轨道交通应急管理技术领域,特别是涉及一种城市轨道交通应急疏散仿真系统及方法。本申请提供了一种城市轨道交通应急疏散仿真系统,仿真系统包括实验平台子系统,实验平台子系统包括数据交互单元、虚拟设备单元、疏散场景单元和疏散资源单元;数据交互单元,用于设置实验影响因素和加载火灾演化数据,使得参与者进入虚拟场景进行实验,同时获取参与者面对紧急情况反应数据;虚拟设备单元,用于让参与者在虚拟环境中感受真实的场景;疏散场景单元,用于构建完整的城市轨道交通系统疏散环境;疏散资源单元,用于构建各种疏散标识、应急疏散灯和广播资源库。为科学合理地制定应急疏散预案和保证乘客安全性提供有力的理论依据和保证。



1. 一种城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述仿真系统包括实验平台子系统, 所述实验平台子系统包括数据交互单元、虚拟设备单元、疏散场景单元和疏散资源单元;

所述数据交互单元, 用于设置实验影响因素和加载火灾演化数据, 使得参与者进入虚拟场景进行实验, 同时获取参与者面对紧急情况反应数据;

所述虚拟设备单元, 用于让参与者在虚拟环境中感受真实的场景;

所述疏散场景单元, 用于构建完整的城市轨道交通系统疏散环境;

所述疏散资源单元, 用于构建各种疏散标识、应急疏散灯和广播资源库。

2. 如权利要求1所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述数据交互单元包括server端、主控制端和实验端, 所述虚拟设备单元包括虚拟现实设备及配套无线套件、万向走步机和心率测量设备。

3. 如权利要求2所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述虚拟现实设备包括虚拟现实眼镜、操作手柄和定位器。

4. 如权利要求1所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述疏散场景单元包括模型构建与渲染模块、动画渲染模块、功能设置模块和智能体设定模块。

5. 如权利要求4所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述模型构建与渲染模块包括列车、车站以及区间隧道模型的构建与渲染;

所述动画渲染模块包括开门动画子模块、火势蔓延动画子模块和烟气扩散子模块;

所述功能设置模块包括车门开启子模块、报警子模块、灭火子模块和障碍物碰撞检测子模块;

所述智能体设定模块包括智能体外表设置子模块、逃生路线设置子模块和逃生行为设置子模块。

6. 如权利要求1所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述疏散资源单元包括疏散图片模块和疏散音频模块。

7. 如权利要求6所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述疏散图片模块包括疏散引导标识、方向指示标识、距离指示标识和出口标识;

所述疏散音频模块包括人群嘈杂声子模块、疏散广播子模块和开关门声音子模块。

8. 如权利要求1~7中任一项所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 所述疏散环境包括列车、车站和隧道区间。

9. 一种城市轨道交通应急疏散仿真方法, 其特征在于: 所述方法包括如下步骤:

步骤1、对参与者进行操作教学;

步骤2、通过数据交互单元中的人机交互界面选择疏散模式、疏散场景, 并对广播、标志牌、应急疏散指示灯、虚拟乘客和碰撞检测进行设置;

步骤3、参与者进入疏散场景单元, 置身于正在行驶的地铁列车车厢中部;

步骤4、启动紧急情况, 统计参与者在不同事故条件下的反应时间、运动速度、疏散行为特征和路径选择特点;

步骤5、根据实验数据进行分析。

10. 如权利要求9所述的城市轨道交通应急疏散仿真系统, 其特征在于: 还包括对参与者进行问卷调查和访谈, 进一步了解参与者在实验中做出某些行为的心理动机。

一种城市轨道交通应急疏散仿真系统及方法

技术领域

[0001] 本申请属于城市轨道交通应急管理技术领域,特别是涉及一种城市轨道交通应急疏散仿真系统及方法。

背景技术

[0002] 城市轨道交通系统由于信号、机电等设备众多,局部区域易受外界影响,存在安全隐患,难以完全控制,可能诱发多种事故。由于客流密集,空间有限,在庞大的客流压力下,一旦发生事故,将对紧急疏散带来很大挑战。城市轨道交通系统作为一个人员密集的公共场所,紧急情况下的乘客疏散是一个必须要考虑的问题。各类城市轨道交通事故中,火灾是威胁城市轨道交通运营安全的主要因素,约占事故总数的57%,城市轨道交通事故中62%的人员死亡源于火灾事故。火灾事故造成的经济损失和人身伤害巨大,尤其是隧道火灾,救援难度大,更增加了乘客安全疏散的难度。

[0003] 现有技术中火发展和烟分布建模是一个挑战,城市轨道交通车站火灾中人员疏散、火灾发展的仿真研究普遍是分开进行的,显然这与实际情况不符,而通过环境控制系统进行真实实验太耗费时间和劳动力并有产生伤害事故的风险,参与者撤离的行为信息也不易被捕获。另一方面,加强疏散教育是提高应急疏散效率,维护乘客安全的重要手段和保证。但目前的应急疏散推广教育方法主要采用地铁站内粘贴相关宣传画册和标志、车厢和站台内播放视频等方式,难以引起乘客的认真关注,调查发现,这些推广教育的手段收效甚微,绝大多数的乘客,即使是每天乘坐地铁的通勤乘客,对应急疏散相关知识的了解几乎为零。

[0004] 地铁车站不定期举行的应急疏散演练由于成本较高,涉及人群较少,几乎都是车站工作人员,导致这种方式难以覆盖到大量乘客。因此,城市轨道交通应急疏散的推广教育需要新的有效方法和手段。此外由于缺乏对乘客应急疏散行为的认知,有关部门设计的各种应急疏散设备、设施和标志等是否能够在事故疏散中发挥应有的作用,缺乏有效的验证手段。

发明内容

[0005] 1.要解决的技术问题

[0006] 紧急疏散情况下的行人行为研究和采集是当前应急疏散研究和仿真建模的一个难点。采用实验方法研究时为保证安全,行人疏散和冷烟、热烟实验只能分别进行,导致行人行为数据不准确;采用计算机仿真模拟时,由于行人运动参数和疏散行为设定缺乏基础数据导致结果不准确和无法验证。此外,由于缺乏对乘客应急疏散行为的认知,有关部门设计的各种应急疏散设备、设施和标志等是否能够在事故疏散中发挥应有的作用,缺乏有效的验证手段,城市轨道交通应急疏散的推广教育需要新的有效方法和手段的问题,本申请提供了一种城市轨道交通应急疏散仿真系统及方法。

[0007] 2.技术方案

[0008] 为了达到上述的目的,本申请提供了一种城市轨道交通应急疏散仿真系统,所述仿真系统包括实验平台子系统,所述实验平台子系统包括数据交互单元、虚拟设备单元、疏散场景单元和疏散资源单元;

[0009] 所述数据交互单元,用于设置实验影响因素和加载火灾演化数据,使得参与者进入虚拟场景进行实验,同时获取参与者面对紧急情况反应数据;

[0010] 所述虚拟设备单元,用于让参与者在虚拟环境中感受真实的场景;

[0011] 所述疏散场景单元,用于构建完整的城市轨道交通系统疏散环境;

[0012] 所述疏散资源单元,用于构建各种疏散标识、应急疏散灯和广播资源库。

[0013] 可选地,所述数据交互单元包括server端、主控制端和实验端,所述虚拟设备单元包括虚拟现实设备及配套无线套件、万向走步机和心率测量设备。

[0014] 可选地,所述虚拟现实设备包括虚拟现实眼镜、操作手柄和定位器。

[0015] 可选地,所述疏散场景单元包括模型构建与渲染模块、动画渲染模块、功能设置模块和智能体设定模块。

[0016] 可选地,所述模型构建与渲染模块包括列车、车站以及区间隧道模型的构建与渲染;

[0017] 所述动画渲染模块包括开门动画子模块、火势蔓延动画子模块和烟气扩散子模块;

[0018] 所述功能设置模块包括车门开启子模块、报警子模块、灭火子模块和障碍物碰撞检测子模块;

[0019] 所述智能体设定模块包括智能体外表设置子模块、逃生路线设置子模块和逃生行为设置子模块。

[0020] 可选地,所述疏散资源单元包括疏散图片模块和疏散音频模块。

[0021] 可选地,所述疏散图片模块包括疏散引导标识、方向指示标识、距离指示标识和出口标识;

[0022] 所述疏散音频模块包括人群嘈杂声子模块、疏散广播子模块和开关门声音子模块。

[0023] 可选地,所述疏散环境包括列车、车站和隧道区间。

[0024] 本申请还提供一种城市轨道交通应急疏散仿真方法,所述方法包括如下步骤:

[0025] 步骤1、对参与者进行操作教学;

[0026] 步骤2、通过数据交互单元中的人机交互界面选择疏散模式、疏散场景,并对广播、标志牌、应急疏散指示灯、虚拟乘客和碰撞检测进行设置;

[0027] 步骤3、参与者进入疏散场景单元,置身于正在行驶的地铁列车车厢中部;

[0028] 步骤4、启动紧急情况,统计参与者在不同事故条件下的反应时间、运动速度、疏散行为特征和路径选择特点;

[0029] 步骤5、根据实验数据进行分析。

[0030] 可选地,还包括对参与者进行问卷调查和访谈,进一步了解参与者在实验中做出某些行为的心理动机。

[0031] 3.有益效果

[0032] 与现有技术相比,本申请提供一种城市轨道交通应急疏散仿真系统及方法的有

益效果在于：

[0033] 本申请提供的通过营造沉浸式虚拟环境创建真实的事故环境，借助各种记录和存储手段采集乘客应急疏散行为特征和运动参数。同时，作为疏散设计优化和推广教育的有效手段，为科学合理地制定应急疏散预案和保证乘客安全性提供有力的理论依据和保证。

附图说明

- [0034] 图1是本申请的虚拟现实设备示意图；
- [0035] 图2是本申请的无线套件示意图；
- [0036] 图3是本申请的万向走步机示意图；
- [0037] 图4是本申请的心率测量设备示意图；
- [0038] 图5是本申请的地铁列车内部示意图；
- [0039] 图6是本申请的地铁列车3D建模示意图；
- [0040] 图7是本申请的列车司机室及紧急疏散门设置示意图；
- [0041] 图8是本申请的隧道内部示意图；
- [0042] 图9是本申请的隧道内联络通道和疏散平台示意图；
- [0043] 图10是本申请的隧道区间布置示意图；
- [0044] 图11是本申请的隧道端部示意图；
- [0045] 图12是本申请的VR场景中隧道端部通过楼梯与站台相连示意图；
- [0046] 图13是本申请的车厢内疏散指示和灭火器标志示意图；
- [0047] 图14是本申请的实验场景中的车厢内疏散指示和灭火器标志示意图；
- [0048] 图15是本申请的车厢两端“紧急出口”标志示意图；
- [0049] 图16是本申请的隧道内联络通道指示标志和紧急疏散灯示意图；
- [0050] 图17是本申请的隧道内疏散标识示意图；
- [0051] 图18是本申请的标志位置一示意图；
- [0052] 图19是本申请的标志位置二示意图；
- [0053] 图20是本申请的实验参数选择界面示意图；
- [0054] 图21是本申请的VR场景中的虚拟乘客正在逃生示意图；
- [0055] 图22是本申请的车厢内发生火灾示意图；
- [0056] 图23是本申请的车厢内出现烟雾示意图；
- [0057] 图24是本申请的车厢内发生人群异动示意图；
- [0058] 图25是本申请的实验流程示意图；
- [0059] 图26是本申请的列车地板火简化发展规律示意图；
- [0060] 图27是本申请的列车在发展过程中火灾锋面随时间的扩展示意图；
- [0061] 图28是本申请的列车座椅火扩展示意图；
- [0062] 图29是本申请的列车座椅火扩展规律示意图；
- [0063] 图30是本申请的危险区域扩展示意图；
- [0064] 图31是本申请的 $2.5\text{kw}/\text{m}^2$ 辐射热面的发展规律示意图；
- [0065] 图32是本申请的多人联机设置示意图；
- [0066] 图33是本申请的车厢内报警及通话装置示意图；

- [0067] 图34是本申请的车厢内灭火器示意图；
- [0068] 图35是本申请的站台和疏散平台疏散时的车门打开情况示意图；
- [0069] 图36是本申请的端门疏散时的车门打开情况示意图；
- [0070] 图37是本申请的仿真系统原理示意图。

具体实施方式

[0071] 在下文中,将参考附图对本申请的具体实施例进行详细地描述,依照这些详细的描述,所属领域技术人员能够清楚地理解本申请,并能够实施本申请。在不违背本申请原理的情况下,各个不同的实施例中的特征可以进行组合以获得新的实施方式,或者替代某些实施例中的某些特征,获得其它优选的实施方式。

[0072] 目前针对城市轨道交通系统乘客紧急疏散的研究基本依赖于实验和计算机仿真两种方法。其中实验方法为了保证人员安全,往往进行诸多简化,造成实验场景与真实场景相差甚远,尤其是火灾等事故,难以构建真实的实验现场;计算机仿真的基础在于乘客的应急行为和运动参数设定,由于缺乏真实情况下的行为和运动数据,仿真结果与实际情况难以吻合。火灾中的行人疏散模型参数的获取一直是阻碍模型发展的一个重要因素。因实验及检测难度高、安全性低等问题,在进行现场试验时存在不少隐患,鲜有人涉及。而VR技术很好地解决了上述缺点,让实验参与者能够在由引擎搭建的场景中,通过浸入式的虚拟环境中进行实验,并得到较好的实验结果以供分析。

[0073] 本申请旨在解决当前研究方法中存在的如下难点:

[0074] (1) 紧急疏散情况下行人疏散模型的研究缺乏理论依据和有效的验证手段。目前微观仿真模型中紧急情况下行人行为模式和速度取值等往往在正常行为模式的基础上通过简单的添加因子方式实现。但发生事故时人员的运动特点与正常时有很大的区别,如表现出非适应性、恐慌行为、穿过烟气行为等。对于紧急情况下的乘客行为,由正常行为推演得到的参数取值和模型构建缺乏理论依据。

[0075] (2) 行人紧急疏散行为的采集方法不能全面地捕捉行人的疏散行为,数据可信度不高。目前紧急疏散情况下行人行为的实验采集方法主要有两种:严肃游戏和真人实验。严肃游戏通过观看视频动画考察行人的疏散行为,但这种方法只能提取到路径选择行为,缺乏对疏散速度和其他疏散行为的研究;并且观看视频缺少代入感,很难保证行人在真实情况下也做出同样的决策。现有的真人实验要么在实验室搭建的简单场景中考察某一具体的行为,简化的场景与真实的城市轨道交通环境存在较大差别,导致对行为考察的不准确;要么在真实的城市轨道交通环境中进行有组织的实验,但实验中为了保证乘客安全,往往在具有充分准备的情况下进行,且无法呈现火灾等紧急场景,乘客难以体验到真实事故时的紧张感,故表现出的行为与真实事故发生时的应急行为存在较大差别,难以采集到真实的应急行为。

[0076] (3) 安全疏散设计和应急预案制定缺乏有效的方案比选方法和验证手段,疏散演习和安全教育缺少代入感,效果不理想。设计阶段针对安全疏散设计的设备设施和运营阶段制定的紧急疏散应急预案多是基于经验和理想条件下的预估,实际情况发生时往往不能按照规定发挥作用和完成各种预定动作。疏散演习中为保证安全,往往难以呈现紧急场景,现场环境和疏散人员心理状态与真实情况差别较大,导致真实事故发生时的情况与演习中

有很大不同。针对乘客群体的安全教育缺乏有效的推广手段,且多停留在理论层面,缺乏有效的实践体验。

[0077] 相较于现有技术,本申请在以下方面进行创新和改进:

[0078] (1) 现有技术未实现城市轨道交通系统疏散环境的集成建设,一般单一地集中于简单的车站或隧道环境的构建,缺乏对车厢疏散过程的考虑。本申请旨在构建完整的城市轨道交通疏散环境,包括列车、隧道、站台、站厅等全部乘客公共空间,能够实现全过程疏散模拟。

[0079] (2) 现有技术中鲜有虚拟人员的设置,无法体现从众行为、协同行为等人群效应,与正常情况下城市轨道交通系统中乘客聚集的情况有较大差距。本申请旨在构建一个包含大量虚拟乘客的模拟环境,并借助智能体思想为他们设置一定的行为规则,可由用户通过界面操作实现虚拟人员反应时间、运动速度等行为参数的控制。可实现人群骚动、拥挤、引导疏散等效果。

[0080] (3) 现有技术一般通过上帝视角的浏览性模拟,无法与场景产生互动,缺少真实的体验感和浸入感,导致行为反应与真实场景有较大差别。本申请旨在开发一个沉浸式的互动模拟系统,参与者处于与现实中相同的视角观察环境和其他人物,并能够实现与现实中相同的互动操作,为参与者创造了一个无限接近真实的疏散模拟环境,使参与者表现出接近真实的行为反应,保证了获取的参数可靠性。

[0081] (4) 现有技术中每个虚拟场景仅能容纳一名参与者进入,无法实现虚拟环境中多个参与者的交流协作。本申请旨在开发一个具有多人协同功能的互动模拟系统,可实现多位参与者在同一场景中的互动,他们在虚拟场景中可以看到彼此,并做出与现实中相似的行为反应。基于此项技术可研究乘客在紧急疏散时的协同行为,工作人员也可借助此项技术参与到模拟中以实现复杂的引导行为。

[0082] (5) 现有技术中一般通过VR手柄实现参与者在场景中的移动,而参与者本身并未移动。由于手柄采取瞬移式移动,其移动速度和步长与真实情况下的移动存在较大差别,无法采集参与者在模拟中的运动特点和运动形态。本申请摒弃了手柄移动的方式,参与者需要真实地走步和跑动来实现在虚拟场景中的移动,参与者在现实环境和虚拟环境中的移动可实现1:1的对应;同时,为打破定位器的空间限制,本申请引入了万向走步机实现参与者在虚拟空间的超长距离移动。真实的移动体验保证了心率和运动数据获取的可靠性。

[0083] (6) 现有技术中对烟雾和火灾的实现一般通过简单动画实现,缺乏烟火演变规律的理论基础。本申请通过专业火灾演变数值模拟软件对疏散场景中的火灾演变进行全尺寸模拟,然后将高温、火焰、烟雾等模拟结果作为VR环境中烟火变化的输入,保证虚拟环境中烟火的变化符合实际的发展规律。用户可通过界面设置和数据文件的替换实现对起火位置和火灾规模的控制。

[0084] (7) 现有技术中对行人路径选择和各种疏散辅助设备、标志的考察一般集中在单一场景中,通过有限的变化考察单一因素的影响。本申请通过建立标志标识图片库和广播等声音音频库,考虑影响疏散的各种因素,通过用户界面设置实现不同影响因素的自由组合,考察各种工况下的行人疏散行为和疏散引导措施的效果。

[0085] (8) 城市轨道交通部门组织的疏散演练和在实验室中搭建的简单疏散场景实验,疏散情景和疏散人员心理与紧急情况下有较大差别。本申请通过沉浸式虚拟环境和烟-火-

人同步动作来捕捉乘客的疏散行为,获取疏散模型参数的方法相比已有发明更为接近真实情况,所得到参数更有价值,结果更有效。同时VR系统能够提供安全、低成本、有计划和可重复的实验环境。同时作为一种城市轨道交通系统疏散安全教育的推广手段,能够更为便捷地覆盖大量人群,极大地提高安全教育效果。

[0086] 参见图1~36,本申请提供一种城市轨道交通应急疏散仿真系统,所述仿真系统包括实验平台子系统,所述实验平台子系统包括数据交互单元、虚拟设备单元、疏散场景单元和疏散资源单元;

[0087] 所述数据交互单元,用于设置实验影响因素和加载火灾演化数据,使得参与者进入虚拟场景进行实验,同时获取参与者面对紧急情况反应数据;

[0088] 所述虚拟设备单元,用于让参与者在虚拟环境中感受真实的场景;

[0089] 所述疏散场景单元,用于构建完整的城市轨道交通系统疏散环境;

[0090] 所述疏散资源单元,用于构建各种疏散标识、应急疏散灯和广播资源库。

[0091] 可选地,所述数据交互单元包括server端、主控制端和实验端,所述虚拟设备单元包括虚拟现实设备及配套无线套件、万向走步机和心率测量设备。

[0092] server端用于设置实验影响因素和加载火灾演化数据,主控制端和实验端用于参与者进入虚拟场景并进行实验。联机实验时,主控制端用于更新实验场景设置和控制进入场景,实验端跟随主控制端进入。

[0093] 可选地,所述虚拟现实设备包括虚拟现实眼镜、操作手柄和定位器。

[0094] 虚拟现实技术的盔视设备(图1),包括虚拟现实眼镜、操作手柄、定位器等,并配合使用TPCAST无线套件(图2)。采用来自台湾的HTC VIVE虚拟现实设备,需要配合高性能PC主机,要求Cpu为i7-7700或同级别,主频3.6GHz;显卡gtx1060,显存不小于6G。此外,为了突破定位器的空间限制(4m×6m),引入Omini万向走步机(图3),可实现虚拟场景中精确的、无限的空间位移;为了追踪参与者疏散过程中的心理变化,采用Polar V800(图4)实时记录参与者心理数据。

[0095] 可选地,所述疏散场景单元包括模型构建与渲染模块、动画渲染模块、功能设置模块和智能体设定模块。

[0096] 可选地,所述模型构建与渲染模块包括列车、车站以及区间隧道模型的构建与渲染;

[0097] 所述动画渲染模块包括开门动画子模块、火势蔓延动画子模块和烟气扩散子模块;

[0098] 所述功能设置模块包括车门开启子模块、报警子模块、灭火子模块和障碍物碰撞检测子模块;

[0099] 所述智能体设定模块包括智能体外表设置子模块、逃生路线设置子模块和逃生行为设置子模块。

[0100] 可选地,所述疏散资源单元包括疏散图片模块和疏散音频模块。

[0101] 可选地,所述疏散图片模块包括疏散引导标识、方向指示标识、距离指示标识和出口标识;

[0102] 所述疏散音频模块包括人群嘈杂声子模块、疏散广播子模块和开关门声音子模块。

[0103] 可自主选择图片资源,通过坐标设置不同标识的粘贴位置和尺寸大小。也可自主选择声音资源并设置播放时间和音量。

[0104] 下面对常用的标识图片和声音资源详细说明。

[0105] 车厢内疏散标志默认有3个。每节车厢内均张贴“紧急出口在车厢两端”疏散标志和灭火器标志(图13和图14),车厢两端张贴“紧急出口”标志(图15)。

[0106] 隧道内横向疏散通道门洞上方设应急疏散灯和“安全出口”指示标志,如图16所示。其中“安全出口”标志常亮。紧急疏散灯光有三种视觉引导模式:不亮、绿色常亮、绿色闪烁。三种模式可通过server端的设置界面选择。三种状态的编程实现采用0-1转化,即灯有“不亮”和“亮”两种状态,分别赋值为0和1,设置一个紧急疏散灯的状态参数light,每次更新都读取light的值。当server端选择“不亮”时,light取值恒为0;当server端选择“常亮”时,light取值恒为1;当server端选择“闪烁”时,light在0和1之间交替取值,通过设定取值交替的频率可以控制灯光闪烁的频率。

[0107] 隧道内疏散引导标识(图17),默认张贴于隧道壁,也可设置张贴于地面或设置张贴高度。默认状态下,标志位置有两组,可在设置界面选择:位置1——标志位于第2、7节车厢外的隧道壁,如图18所示。位置2——标志位于列车头、尾100m的隧道壁处,如图19所示。

[0108] 声音资源默认包含火焰声、门自动打开的声音、逃生时的嘈杂声、手动开门时的声音,可根据需求自主录制和添加。广播声音宜略大于嘈杂声。针对不同的疏散场景,可选择下列默认广播:

[0109] ①在所有场景中播放:“欢迎乘坐地铁6号线列车,本次列车开往海淀五路居方向,列车运行前方是青年路站,请需要下车的乘客做好准备。”

[0110] ②端门疏散场景设置广播时播放:“车厢发生紧急情况,请乘客从前方紧急疏散门逃生。”播放3遍。

[0111] ③平台疏散场景设置广播时播放:“车厢发生紧急情况,请乘客手动打开车门疏散。”播放3遍。

[0112] 可选地,所述疏散环境包括列车、车站和隧道区间。

[0113] 列车内配置有必要的设施,包括司机室、座椅、车门、座椅与车门间的挡板/栏杆、立柱、扶手、应急解锁装置及使用说明、报警通话器、灭火器、司机室与客室之间的门、紧急疏散门、车厢内正常照明、应急照明、空调通风口、疏散说明/标志、乘客行李等。车厢尺寸和布置参考北京地铁6号线列车,采用B型车,8编组设置,如图5和图6所示。

[0114] 列车驾驶室前端有紧急疏散门,疏散坡道/疏散梯可直接下至轨面,阶梯数量4~5个,宽490mm,净高1840mm。司机室内设置如图7所示。

[0115] 车站包括站台、站厅及两者连接的三组楼扶梯。站台采用城市轨道交通的典型站台形式——岛式站台,包含屏蔽门和站台结构柱。火灾时电梯不可使用。下车后可见对向屏蔽门。参与者可由楼扶梯从站台到达站厅,站厅包括闸机、结构柱等。

[0116] 区间隧道以北京地铁6号线的长大区间——青碣区间为设计原型,截取其中具有代表性的一段构建隧道虚拟环境。隧道中包含轨道、疏散平台、各种管线、照明设备、隧道间联络通道、墙面疏散标志、通往站台的台阶等,如图8所示。

[0117] 列车与站台和隧道内疏散平台之间存在5cm~6cm间隙,疏散平台与车厢底板平齐,与轨道面高差1.3m。疏散平台在联络通道处断开,断开处有台阶,可以从平台下到轨面

疏散,或进入联络通道,如图9所示。

[0118] 假设列车因事故停车,恰好停在两联络通道之间,列车在隧道内的位置如图10所示。

[0119] 隧道端部通过楼梯与站台相连,楼梯宽度1.1m,如图11和图12所示。

[0120] 本申请提供一种城市轨道交通应急疏散仿真方法,其特征在于:所述方法包括如下步骤:

[0121] 步骤1、对参与者进行操作教学;

[0122] 步骤2、通过数据交互单元中的人机交互界面选择疏散模式、疏散场景,并对广播、标志牌、应急疏散指示灯、虚拟乘客和碰撞检测进行设置;

[0123] 步骤3、参与者进入疏散场景单元,置身于正在行驶的地铁列车车厢中部;

[0124] 步骤4、启动紧急情况,统计参与者在不同事故条件下的反应时间、运动速度、疏散行为特征和路径选择特点;

[0125] 步骤5、根据实验数据进行分析。

[0126] 模拟开始前,为使参与者适应VR沉浸式虚拟环境和熟悉互动操作方法,设置有一个教学房间。房间仿照实验室布置,与门相对的位置设置有实验平台子系统,中间有“操作教学”按钮,墙上有操作方法说明。操作教学包含了移动、开门、拾取、使用喷雾瓶等操作。房间一端有一个柜子,参与者可按照教学方法打开柜子,拾取物品并进行相关操作。

[0127] 疏散模式影响因素设置:疏散位置、照明情况、疏散标志类型和位置、广播、起火时间、虚拟乘客的反应时间和运动速度、紧急疏散灯、大件行李、火灾演变规律和危险区范围等。

[0128] 疏散场景包含了列车疏散的三种形式:站台疏散(列车停在站台,乘客从列车疏散到站台,然后通过楼扶梯向站厅疏散)、隧道内疏散平台疏散(乘客从列车内通过列车客室门逃到疏散平台疏散)和隧道内端门疏散(乘客通过列车头部司机室内紧急疏散门下至轨面疏散)。

[0129] 虚拟乘客设置包括在场景中设置一定数量的虚拟乘客,模拟开始时,虚拟乘客随机分布在车厢内,事故发生后,按照用户设定的反应时间,虚拟乘客站起开始逃生。虚拟乘客具有智能寻路能力,可主动绕避障碍物,根据建筑环境自行寻找可行的逃生路径。虚拟乘客具有多个形象,可实现站立、跑动等基本动作。如图21所示。

[0130] 照明程度默认有3个等级:正常照明、紧急照明、黑暗。也可根据需要设置更多级别。

[0131] 由于设置了碰撞检测,乘客在疏散中无法穿越或跨越大件行李,因此大件行李在疏散中会阻碍乘客运动,影响逃生效率。

[0132] 火灾规模和温度设置通过读入火灾演变数据文件的方式控制火灾发展速度和演化规律。也可以不读入火灾文件,观察无火情况下的疏散行为。

[0133] 实验前可通过serve端读入火灾演变文件,控制火灾发生的位置和时间。燃烧的火焰、火势的大小可以通过燃烧状态、烟雾浓度展现,伴有嘈杂人声。火灾演变可以Smartfire仿真结果作为输入。

[0134] 与火灾演变有关的文件包括烟雾演变文件、火灾演变文件和温度演变文件,这些文件作为输入,控制场景中烟火随时间的三维变化;温度的设置视觉上不可见,当参与者在

高温范围内的累计时间超过阈值后即出现“逃生失败”画面宣布逃生结果。

[0135] 根据火灾演变数值模拟结果,可将列车火灾分为地板火、车顶火和座椅火。在缺少具体火灾演变数据的情况下,可按照下列简化的方法处理。假设火源位于列车地板,起火时间设为0s,那么地板火从30s开始蔓延,火焰锋面的蔓延速度为0.085m/s,从火源位置向车厢两端扩散,如图26和图27所示。顶棚火从50s开始,以0.096m/s的速度向列车两端扩展。座椅火从80s开始,若把座椅当成连续的横贯整个车厢,扩散速度为0.086m/s,如图28和图29所示。

[0136] 实验开始时参与者作为一名普通乘客,置身于一列正在行驶的地铁列车车厢中部,参与者可在车厢内自由运动。发生火灾等紧急事故后,参与者依靠自己的判断和经验进行疏散,设法逃生。

[0137] 由于乘客进入场景后自由走动,发生紧急情况时,乘客与火源距离不同,反应时间和应急行为也存在差异。根据实验设定和参与者与火源的位置关系,“发生事故”可以包含3种情况:看到车厢起火(图22)、看到车厢有烟雾(图23)和人群异常(如有乘客呼喊“着火了”或慌乱逃跑等,如图24所示)。考察乘客在不同事故条件下的反应时间、运动速度、疏散行为特征和路径选择特点。

[0138] 随着火灾发展,车厢内温度和热辐射也不断增大,根据火灾数值模拟结果,乘客最先受到热辐射的伤害。高温区域的温度阈值和累计死亡时间阈值应结合人体高温耐受能力确定。火场中,热辐射通量往往对人体产生较大影响,当人体处在 $2.5\text{kw}/\text{m}^2$ 的环境中时,可以坚持35s,当人体处在 $4\text{kw}/\text{m}^2$ 的环境中时,几乎瞬间死亡。在本实验中取 $2.5\text{kw}/\text{m}^2$ 作为危险区域临界值,当乘客在危险区内累计时间超过35s,即宣布“逃生失败”。 $2.5\text{kw}/\text{m}^2$ 辐射热面的发展规律如图30和图31所示:0-80s之间线性发展,扩散速度从0m/s逐渐增加至0.1m/s,80s以后保持以0.1m/s的速度扩散。

[0139] 在站台场景中参与者逃离车厢后到达站台,随后通过楼扶梯到达站厅后即判定为逃生成功;在隧道内应急疏散平台场景中,乘客逃离车厢后到达应急疏散平台,随后沿应急疏散平台疏散,直至到达前/后方车站或横向联络通道即判定为逃生成功;在隧道内端门疏散场景中,乘客通过列车头部司机室的紧急疏散门逃离车厢,然后通过车门处放下的紧急疏散梯下到轨面逃生,在隧道内沿轨面行走,直至到达前/后方车站或横向联络通道即判定为逃生成功。逃生结果以画面形式显示在参与者视野中,显示“逃生成功”/“逃生失败”画面。疏散过程如图25所示。在逃生过程中,如果在危险区域累计时间超过阈值,则判定逃生失败。

[0140] 参与者和行李、立柱、座椅、车厢、建筑物等实体模型之间均设置碰撞检测,参与者和虚拟乘客均不能穿越障碍物。碰撞检测的范围和精细程度影响系统效率和检测的准确度。由于车厢空间狭小,若检测范围过大,容易导致参与者移动过于受限,运动不顺畅;若检测范围过小,则不能有效避碰,可能会出现身体穿越障碍物的现象。通常碰撞检测采用的是长方体、圆柱体或异形体检测,由于异形体检测消耗的系统资源较大,经过比选后采用圆柱体作为碰撞检测的区域范围,效果良好,实现了效率和准确度的平衡。

[0141] 与实际情况相同,车厢内有三种互动装置:灭火器、车门紧急解锁装置、通话报警装置,每种设施处附有使用说明。

[0142] 地铁列车报警装置主要有两种形式,一种是可以与司机通话的报警装置,乘客只

需按动红色按钮,当绿色指示灯亮时,乘客就能与司机直接通话;另一种是不能与司机直接通话的报警装置,按动开关报警后,司机接到报警会通过广播回复乘客,北京地铁6号线采用的就是这种形式,如图33所示。每个报警器处均注明了报警器使用方法:“1、向上推起外罩按下按钮;2、对着通话器说话。”并标注了车厢和车门编号,便于司机和控制中心对着火位置进行定位。

[0143] 车厢内灭火器位置一般位于每节车厢的两端或座椅下方,北京地铁6号线的灭火器位置如图34所示,在车厢连接的位置挖空放置。参与者可拾取灭火器,并喷射出视觉可见的大量二氧化碳及泡沫。

[0144] 本申请设定在实验中使用报警通话装置和拾取、使用灭火器时手柄震动。

[0145] 参与者在疏散过程中,在车门允许打开的情况下,参与者可通过车门解锁装置,手动打开车门疏散。本实验设定发出紧急情况时部分车门可由司机控制自动打开,或由乘客手动打开,另外一些车门不能打开,一直处于关闭状态。当参与者通过车门解锁装置手动打开开门时,伴随手柄震动(以模拟开门的力度)。

[0146] 在三种主要的疏散场景中,车门自动打开和手动打开情况如下:

[0147] ①列车停在站台的情形。事故发生后,按照指定的时间,每节车厢中间的两个车门会自动打开,乘客可从当前打开的车门疏散。当参与者视野内无打开的列车门时,乘客可手动打开每节车厢站台一侧的两端车门。站台另一侧的车门不能自动/手动打开。如图35所示。

[0148] ②用隧道内应急疏散平台疏散时,车门自动/手动打开情况与站台情形相同。

[0149] ③当列车在隧道内停车,且不具备从列车客室门疏散的条件时,只能从列车头部司机室内应急门疏散,此时由司机打开应急门并放下疏散梯,组织乘客从车头疏散。车厢两侧的车门均不打开,也不可手动打开。如图36所示。

[0150] 本申请可将实验过程中参与者位置的三维坐标按照2s的频率记录并输出为文本文件,每组数据的输出形式为 (t_i, x_i, y_i, z_i) ,由此可以计算步行速度。

[0151] 本申请可以第一视角将参与者的疏散过程保存为视频记录,以便实验后回看和提取视频数据用于分析。

[0152] 本申请可以实施追踪并记录参与者的心率变化,将时间和对应的RR间期数据输出为文本文件。

[0153] 根据实验数据,可从以下方面对数据进行分析:

[0154] ①“模拟情景设置”中各种影响因素对乘客反应时间、运动速度、疏散行为特征和路径选择行为的影响。

[0155] ②根据视频记录的乘客视线落点优化疏散标志的设置位置。

[0156] ③实验过程中观察不同场景下乘客的体态:蹲、弯腰、摸索墙壁等。

[0157] ④从生理角度分析参与者心理状态,借助小波分析和加窗处理将时域数据转化为频域数据,分析恐慌、紧张等心理状态。

[0158] 可选地,还包括对参与者进行问卷调查和访谈,进一步了解参与者在实验中做出某些行为的心理动机。

[0159] 为了进一步了解参与者在实验中做出某些行为的心理动机,更好地解读参与者的应急行为,在问卷填写过程中或完成后围绕问卷内容和实验过程中参与者自身的行为对参

与者进行访谈。问卷主要包括个人属性、行为调查、心理调查和实验评价四个部分。个人属性包括参与者的社会经济属性和参与者的背景知识。通过分析参与者的社会经济属性与疏散行为的相互关系,可在疏散中有针对性地关注某一类群体;研究参与者的背景知识(对紧急疏散设备的了解以及火灾经历等)对参与者疏散行为的影响,有助于选择地铁安全教育重点。行为调查主要包括参与者的反应时间、紧急情况下的第一反应以及疏散行为等。通过行为调查可进一步优化紧急情况下对乘客的引导策略。心理调查主要针对恐慌心理,以探讨心理恐慌对疏散行为以及路径选择的影响。实验评价主要包括为实验场景和体验的真实度评价。

[0160] 本申请开发了联机设置,可实现多名参与者同时在一个虚拟场景中进行疏散实验。在同一局域网下,任意指定一台电脑为主控制端,并安装主控制端实验平台,其他为实验端,相应安装实验端实验平台,如图32所示。主控制端可以通过操作实现场景和参数更新并控制进入实验,实验端不具备该功能,只能按照主控制端的设定,随主控制端进入同一虚拟场景。进入实验后,主控制端和实验端的操作没有差别。

[0161] 本申请可容纳多名参与者在同一虚拟场景中联机实验,参与者数量不受系统功能的限制,可根据虚拟设备数量自由设置。各参与者具有不同的可视人物形象,虚拟形象由参与者实时操控,并保持与参与者的同步运动。不同参与者在虚拟场景中能相互观察到彼此的运动和状态。对于参与者自身,本技术方案中将定位用的手柄在虚拟场景中显示为参与者的手和手臂。

[0162] 本申请构建完整的城市轨道交通系统疏散环境,集成各种疏散引导标识,形成图片和声音资源库,加载虚拟乘客和火灾演变数据文件,设置互动性的逃生设施,可实现对多种疏散工况逃生场景的实验模拟。乘客通过自身的移动实现紧急情况下的逃生。本申请涉及的平台可实时记录参与者的移动数据,并以第一视角保存参与者的疏散过程视频记录。

[0163] (1)集成的地铁虚拟环境:包含地铁站台、站厅、列车、区间隧道的1:1完整地铁环境,每处场景中的设备布置等细节均按照实物绘制,如站厅闸机、站台楼扶梯、车内座椅、隧道内轨道、联络通道等。并且各项逃生设施设备均具有互动性,如车门解锁装置、灭火器使用、通话报警装置等。精细化设施设置和全面的影响因素组合,可用于全面的提取各种位置和工况下乘客的疏散行为。

[0164] (2)将应用于VR游戏的Omini万向走步机用于地铁疏散场景,突破了空间限制,适合地铁的大空间范围。并对万向走步机进行参数校正,设定虚拟场景的步行距离与实际步行距离为1:1,保证了采样的准确性。

[0165] (3)引入虚拟乘客设置。通过具有一定规模的虚拟乘客考察从众效应和人群慌乱等现象对实验者疏散的影响。

[0166] (4)在地铁VR模拟系统中采用多人联机设置,可用于考察疏散中的协同行为,或由工作人员扮演引导员等在疏散中有重要影响的具有特殊身份的人物角色。

[0167] (5)采用了最为全面的疏散影响因素和场景组合设置,包括疏散标志图片库、声音资源库、多种照明和灯光效果、大件行李等。

[0168] (6)多角度的实验数据采集方式,包括运动数据捕捉和记录、结合心率追踪技术。首次将心率测试引入应急疏散的恐慌分析,从生理指标方面量化心理状态。为恐慌因子的标定提供了科学可靠的实验数据和量化方法。通过视频记录、运动数据输出、心率追踪技

术,全方位记录乘客疏散过程中的运动信息、行为信息和心理状态。通过浸入式虚拟环境、烟火人同步仿真和1:1的运动设置来捕捉乘客疏散行为、获取疏散模型参数的方法相比已有发明更为接近真实情况,所得参数更有价值,结果更有效。对标定微观行人仿真模型的参数,提升模型有效性具有十分重要的意义。

[0169] (7)烟火数据导入方式:利用FDS仿真结果导入VR系统,使火灾演变规律具有理论支撑,而不只是单纯的动画过程。火灾和烟雾发展基于火灾数值模拟结果呈现,与真实情况下的火灾发展规律相同,营造的火灾和烟雾环境更为真实。

[0170] (8)加入危险区设置:根据火灾演化的辐射热变化设置危险区域,乘客在危险区内累计时间达到阈值后即“逃生失败”。

[0171] (9)创建实验前模拟教学平台,用于指导实验者熟悉虚拟环境和互动操作方法,确保顺利进行实验。多人协同的功能实现和虚拟乘客设置实现了从“个体”到“群体”的突破,提供了研究人群行为的新途径;开发的VR实验平台能够提供安全、低成本、有计划和可重复的实验环境。

[0172] 尽管在上文中参考特定的实施例对本申请进行了描述,但是所属领域技术人员应当理解,在本申请公开的原理和范围内,可以针对本申请公开的配置和细节做出许多修改。本申请的保护范围由所附的权利要求来确定,并且权利要求意在涵盖权利要求中技术特征的等同物文字意义或范围所包含的全部修改。

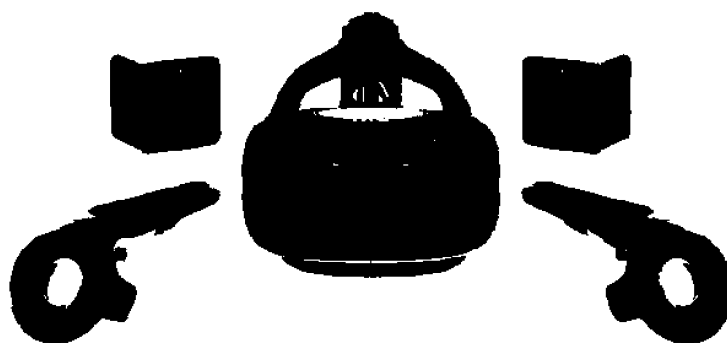


图1



图2

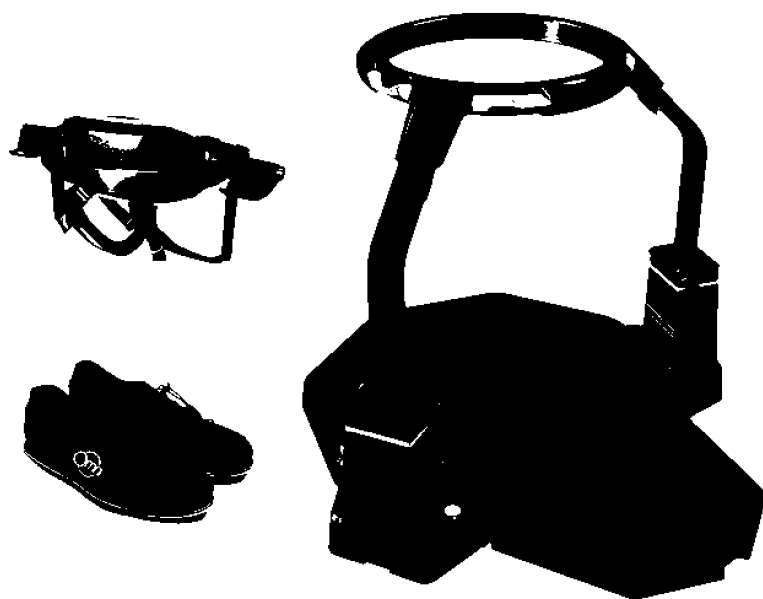


图3

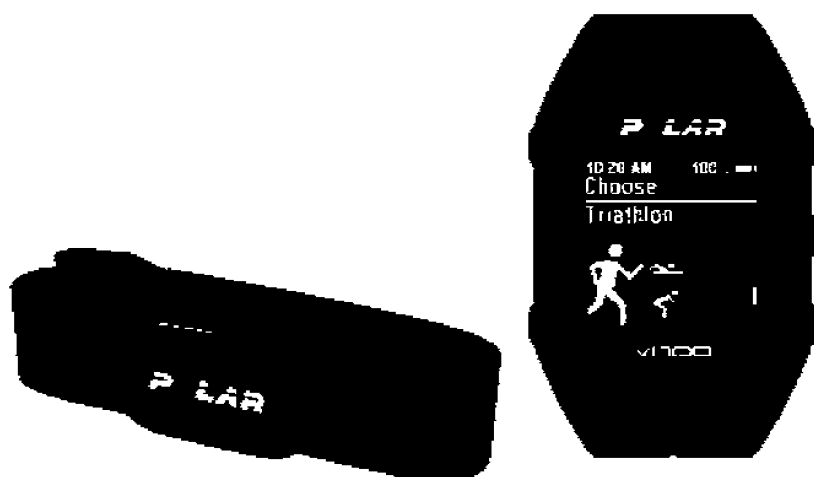


图4



图5



图6



图7



图8

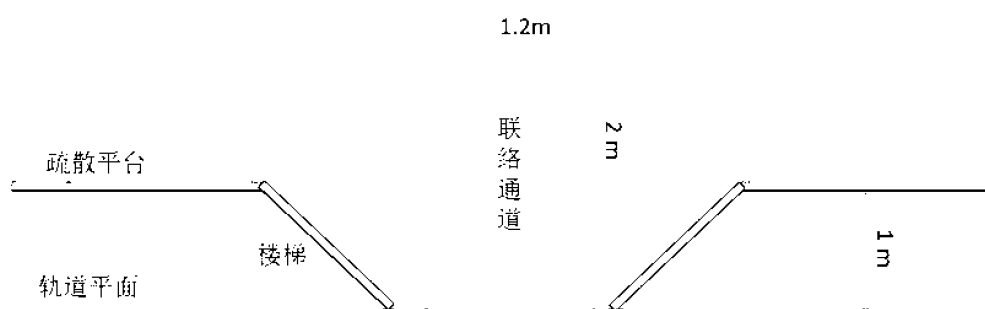


图9

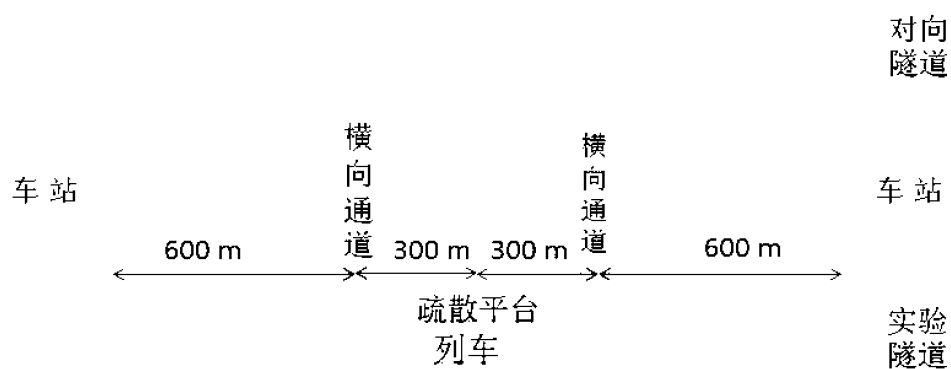
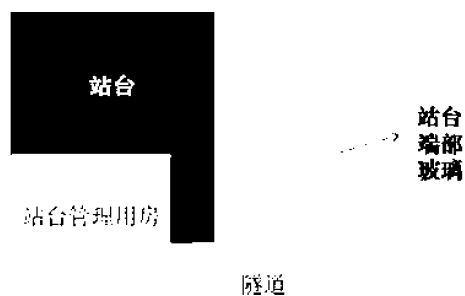


图10



疏散平台

—

图11

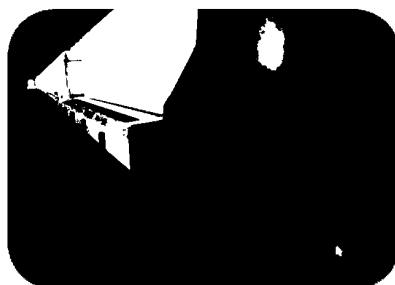


图12



图13



图14



图15



图16



图17

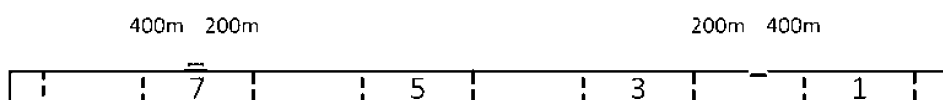


图18

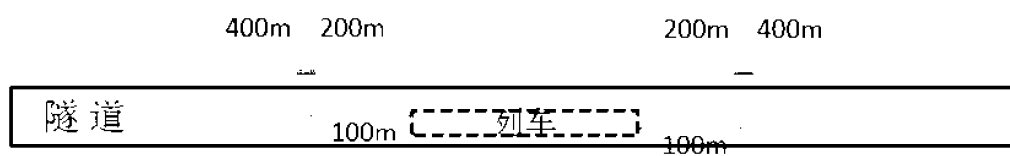


图19

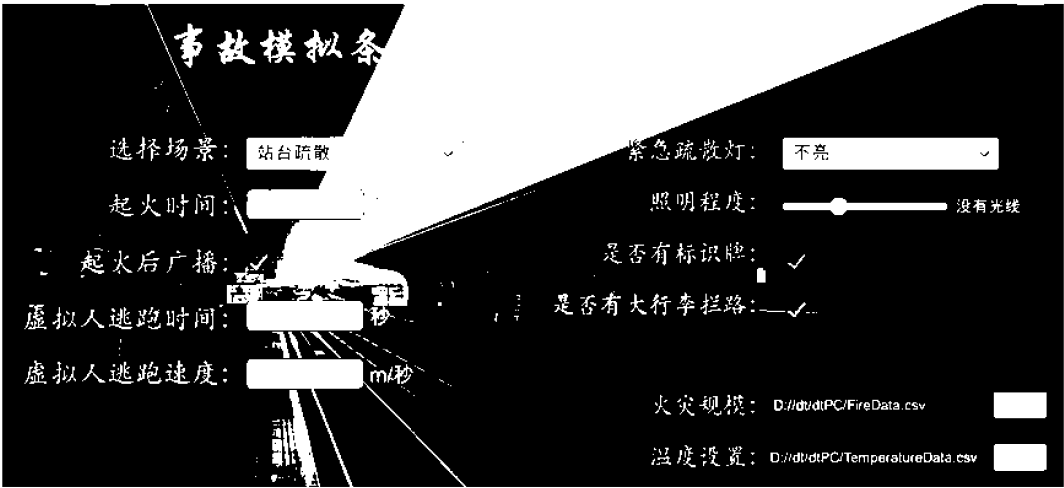


图20



图21

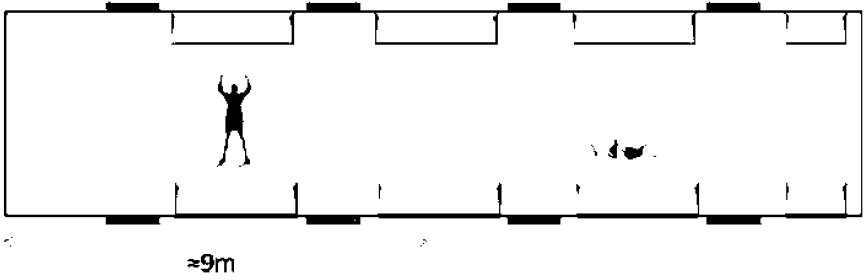


图22



图23

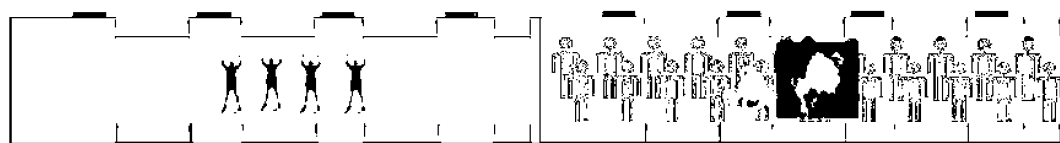


图24

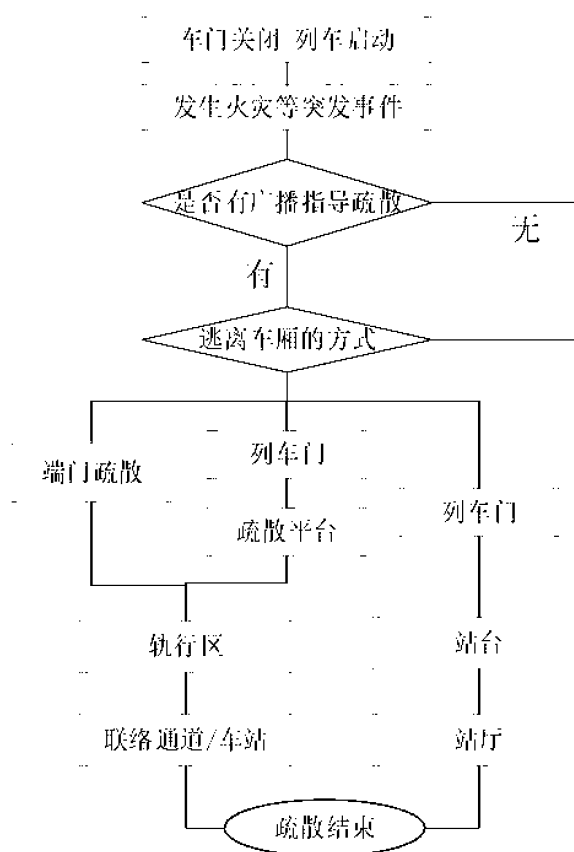


图25

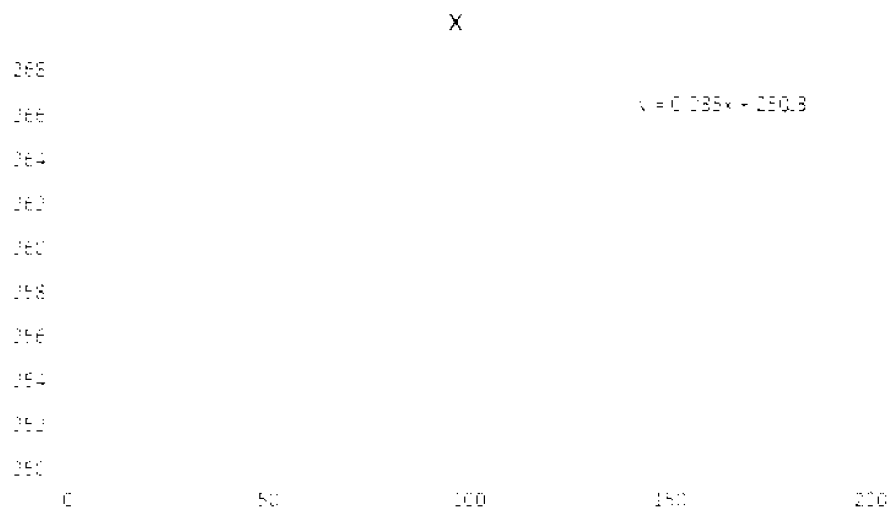


图26

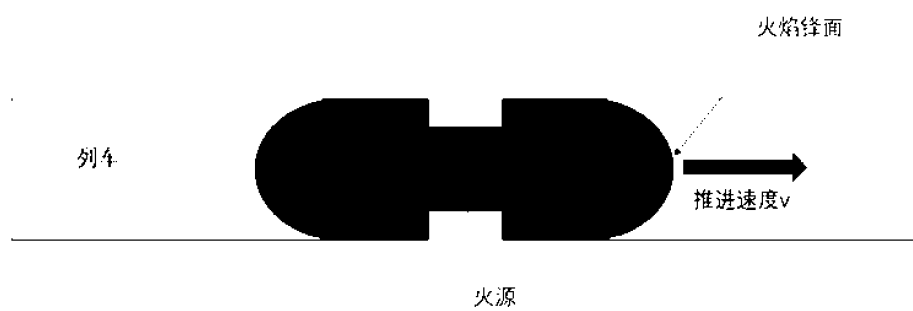


图27

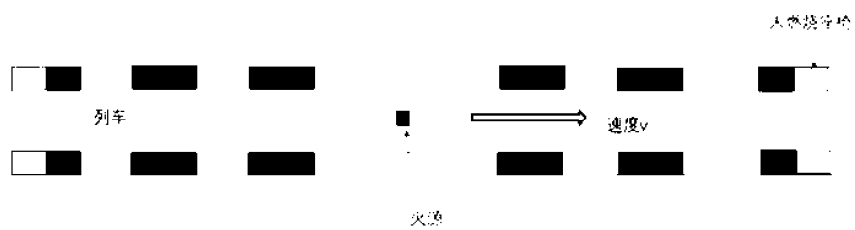


图28



图29



图30

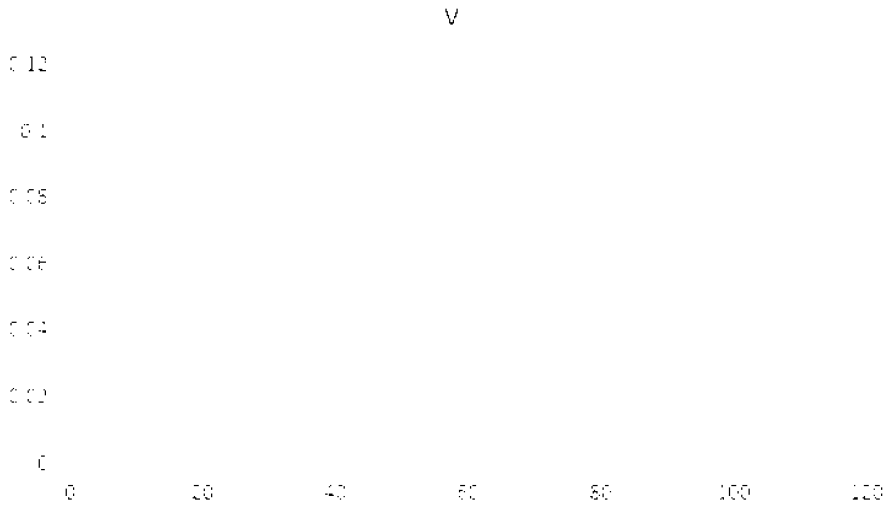


图31

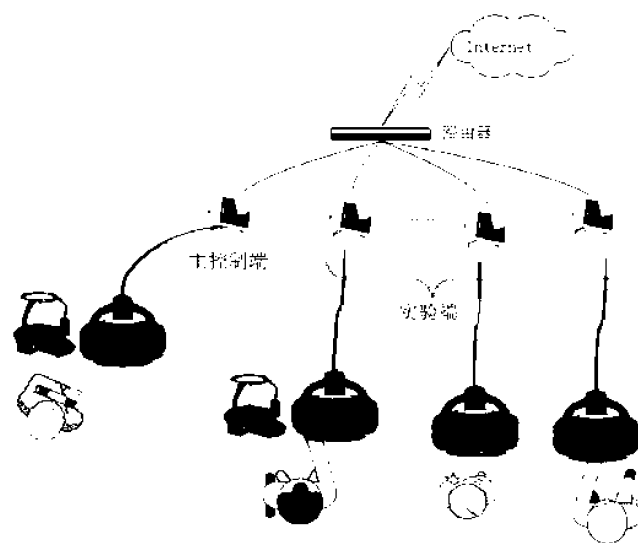


图32



图33



图34



图35

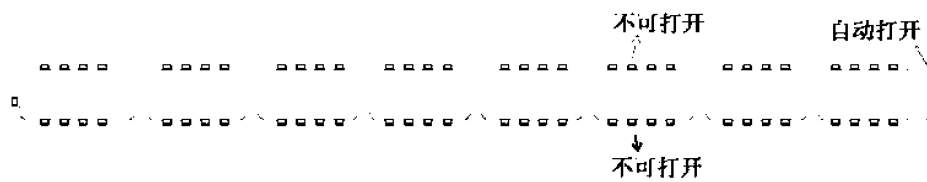


图36

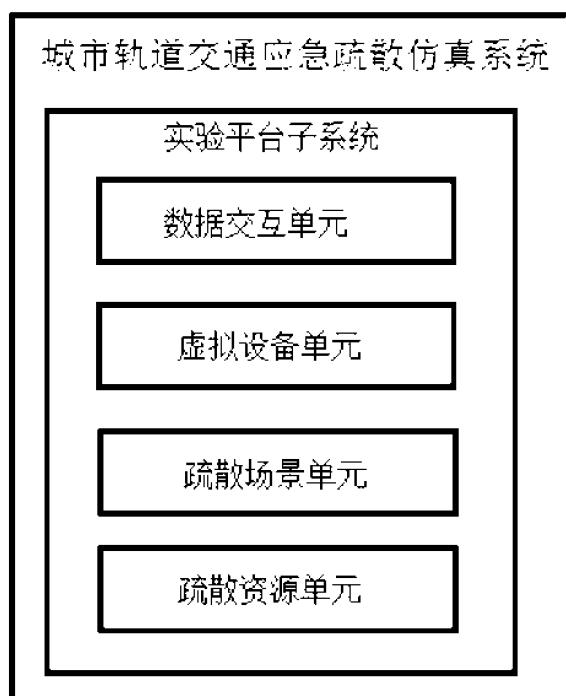


图37