



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117993225 A

(43) 申请公布日 2024. 05. 07

(21) 申请号 202410396600.8

(22) 申请日 2024.04.03

(71) 申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72) 发明人 彭靖萱 魏中华 佟雪莹 王世豪

李永行 陈艳艳 王少帆 李昀轩

(74) 专利代理机构 北京鼎承知识产权代理有限公司

11551

专利代理师 邵闯

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G08G 1/16 (2006.01)

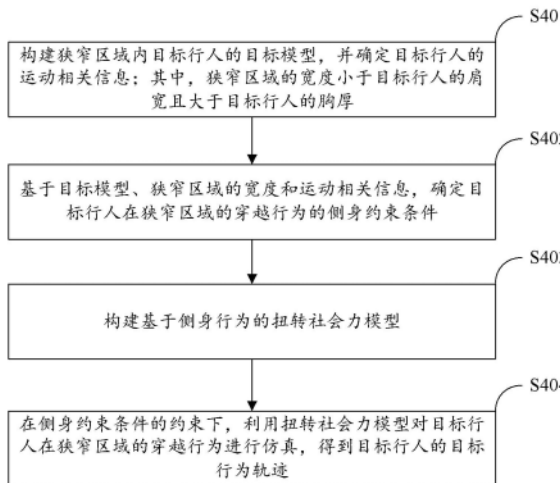
权利要求书4页 说明书23页 附图4页

(54) 发明名称

狭窄区域的穿越行为的仿真方法和装置

(57) 摘要

本公开涉及狭窄区域的穿越行为的仿真方法和装置。该狭窄区域的穿越行为的仿真方法包括：构建狭窄区域内目标行人的目标模型，并确定目标行人的运动相关信息；其中，狭窄区域的宽度小于目标行人的肩宽且大于目标行人的胸厚；基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息，确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件；构建基于侧身行为的扭转社会力模型；在侧身约束条件的约束下，利用扭转社会力模型对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真，得到目标行人的目标行为轨迹。本公开能够基于行人的侧身行为，对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真，提高了仿真的真实性。



1. 一种狭窄区域的穿越行为的仿真方法,其特征在于,包括:

构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定所述目标行人的运动相关信息;其中,所述狭窄区域的宽度小于所述目标行人的肩宽且大于所述目标行人的胸厚;

基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;

构建基于侧身行为的扭转社会力模型;

在所述侧身约束条件的约束下,利用所述扭转社会力模型对所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到所述目标行人的目标行为轨迹。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述运动相关信息包括身体旋转宽度,所述身体旋转宽度小于或等于所述狭窄区域的宽度,所述侧身约束条件包括侧倾角约束;所述基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件,包括:

基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述身体旋转宽度,计算所述侧倾角约束。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述侧倾角约束的计算公式为:

$$\theta = \begin{cases} \arccos\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right), & d \leq L \text{ 且 } 2b < L < 2a, \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, θ 表示目标行人的旋转角度,也即侧倾角, a 表示目标行人的椭圆模型的长半轴, b 表示目标行人的椭圆模型的短半轴, $2a$ 表示目标行人的肩宽, $2b$ 表示目标行人的胸厚, a 和 b 均为常数,且 $a > b$, L 表示狭窄区域的宽度, d 表示目标行人侧身后的身体旋转宽度;

假设 $d = L - 2\zeta_w$,则:

$$\theta_{\min} = \arccos\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{L - 2\zeta_w}{2}\right)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right),$$

其中, θ_{\min} 表示目标行人的最小旋转角度, ζ_w 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离,为通过实际实验得到的一个常数。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述运动相关信息还包括初始位置、期望速度和旋转角速度,所述侧身约束条件还包括侧身时间约束;所述基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件,还包括:

基于所述旋转角速度和所述侧倾角约束,计算所述目标行人的旋转时间;

基于所述目标模型、所述初始位置、所述期望速度和所述旋转时间,计算所述侧身时间约束;

其中,所述侧身时间约束的计算公式为:

$$T_b \leq \frac{x_a - x_0 - \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}}{v(t)} - t_r,$$

其中, T_b 表示目标行人的旋转开始时刻, 也即侧身时间, (x_0, y_0) 表示目标行人的初始位置, (x_a, y_a) 表示狭窄区域的墙壁的边缘位置, (x_a, y_0) 表示目标行人的初始位置所在水平线的X轴与狭窄区域的墙壁的边缘位置在X轴方向上投影的交点, (x, y_0) 表示目标行人的旋转开始位置, (x', y_0) 表示目标行人旋转到狭窄区域的墙壁的位置, $x = x_0 + v(t) \cdot T_b$, $x' = x + v(t) \cdot t_r$, $v(t)$ 表示目标行人在第 t 时刻的期望速度, ζ_w 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离, 为通过实际实验得到的一个常数, L 表示狭窄区域的宽度, t_r 表示目标行人的旋转时间, $t_r = \frac{\theta}{\omega}$, ω 表示实验测得的常数, 用于表示目标行人的旋转角速度。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其特征在于, 所述侧身约束条件还包括侧身距离约束; 所述基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息, 确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件, 还包括:

基于所述目标模型、所述初始位置、所述期望速度、所述旋转时间、所述心理距离和所述侧身时间约束, 计算所述侧身距离约束;

其中, 所述侧身距离约束的计算公式为:

$$D_T = x_a - x \geq \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (y_a - y_0)^2} + v(t) \cdot t_r,$$

其中, D_T 表示目标行人在旋转开始时刻与狭窄区域的墙壁之间的距离;

假设 $y_a - y_0 = \frac{L}{2}$, 则:

$$D_T = \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (\frac{L}{2})^2} + v(t) \cdot t_r.$$

6. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述构建基于侧身行为的扭转社会力模型, 包括:

获取与所述目标行人的侧向行为有关的侧向行为作用力, 所述侧向行为作用力包括所述目标行人的驱动力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和所述目标行人的侧身意愿;

基于所述目标行人的驱动力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和所述目标行人的侧身意愿, 构建基于侧身行为的扭转社会力模型。

7. 根据权利要求1~6中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述扭转社会力模型通过下述公式进行表示:

$$m \frac{dv}{dt} = F + \sum_{w=1}^W (F_w + F_w^C) \cdot \xi(F_T),$$

$$F = m \frac{v^0(t)e^0(t) - v(t)}{\tau},$$

$$F_w = A\bar{\omega} \exp\left(\frac{r-d_w}{B\bar{\omega}}\right)n_w + k_n g(r-d_w)n_w + k_t g(r-d_w)[v^T t_w] \cdot t_w,$$

$$F_w^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r-d_w}{B_c \bar{\omega}}\right)n_w,$$

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{F + \sum_{w=1}^W (F_w + F_w^C) \cdot \xi(F_T)}{m},$$

$$\xi(F_T) = \exp(-F_T),$$

$$F_T = m \frac{a^2 + b^2}{4a} \frac{d^2\theta}{d^2 t_r},$$

$$v(t) = v^0(t)e^0(t) + \bar{a}t,$$

$$s(t) = s(0) + \int_0^t v(t)dt,$$

其中, m 表示目标行人的质量, v 表示目标行人的实际速度, F 表示目标行人的驱动力, F_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁之间的相互作用力, F_w^C 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力, W 表示狭窄区域的墙壁的总数量, $\xi(F_T)$ 表示目标行人的侧身意愿, F_T 表示目标行人的扭力, $v^0(t)$ 表示目标行人的初始速度, $e^0(t)$ 表示目标行人在 t 时刻指向期望目标的单位矢量, $v(t)$ 表示目标行人在 t 时刻的期望速度, τ 表示一定的特征时间, A 表示社会作用力的强度, B 表示社会作用力的范围, A 和 B 均为常数, $\bar{\omega}$ 表示调整系数, r 表示目标行人的半径, d_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁的质心间距, n_w 表示目标行人指向狭窄区域的墙壁的归一化矢量, k_n 表示身体压缩系数, k_t 表示滑动摩擦系数, t_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁的切线方向, $g(x) = \max(x,0)$ 表示目标行人和狭窄区域的墙壁互不接触, A_c 表示碰撞力的强度, B_c 表示碰撞力的范围, A_c 和 B_c 均为常数, \bar{a} 表示目标行人在 t 时刻的加速度, a 表示目标行人的椭圆模型的长半轴, t_r 表示目标行人的旋转时间, b 表示目标行人的椭圆模型的短半轴, $s(t)$ 表示目标行人在 t 时刻的位置, $s(0)$ 表示目标行人在初始时刻的初始位置。

8.一种狭窄区域的穿越行为的仿真装置,其特征在于,包括:

构建模块,用于构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定所述目标行人的运动相关信息;其中,所述狭窄区域的宽度小于所述目标行人的肩宽且大于所述目标行人的胸厚;

处理模块,用于基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;

所述构建模块还用于构建基于侧身行为的扭转社会力模型;

仿真模块,用于在所述侧身约束条件的约束下,利用所述扭转社会力模型对所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到所述目标行人的目标行为轨迹。

9.一种电子设备,其特征在于,包括:

至少一个处理器;

用于存储所述至少一个处理器可执行指令的存储器;

其中,所述至少一个处理器用于执行所述指令,以实现如权利要求1~7中任一项所述的方法的步骤。

10.一种计算机可读存储介质,其特征在于,当所述计算机可读存储介质中的指令由电子设备的处理器执行时,使得所述电子设备能够执行如权利要求1~7中任一项所述的方法的步骤。

狭窄区域的穿越行为的仿真方法和装置

技术领域

[0001] 本公开涉及计算机技术领域,尤其涉及狭窄区域的穿越行为的仿真方法和装置。

背景技术

[0002] 作为交通出行的重要组成部分,行人的舒适性和安全性一直是研究的重点。在过去的几十年中,学者们对行人动力学进行了大量研究,并提出了多种微观模拟模型来模拟行人行为。

[0003] 相关技术中,这些微观模拟模型在对狭窄区域的穿越行为进行仿真时,行人在碰到狭窄区域的墙壁或其他行人时会选择改变运动方向、停止运动或绕行,可见,这些微观模拟模型均忽略了行人通过侧向行为即旋转行为与狭窄区域的墙壁保持距离,以避免产生碰撞。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本公开实施例提供了一种狭窄区域的穿越行为的仿真方法和装置,以解决相关技术中存在的问题。

[0005] 本公开实施例的第一方面,提供了一种狭窄区域的穿越行为的仿真方法,包括:
构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定所述目标行人的运动相关信息;其中,所述狭窄区域的宽度小于所述目标行人的肩宽且大于所述目标行人的胸厚;

基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;

构建基于侧身行为的扭转社会力模型;

在所述侧身约束条件的约束下,利用所述扭转社会力模型对所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到所述目标行人的目标行为轨迹。

[0006] 本公开实施例的第二方面,提供了一种狭窄区域的穿越行为的仿真装置,包括:
构建模块,用于构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定所述目标行人的运动相关信息;其中,所述狭窄区域的宽度小于所述目标行人的肩宽且大于所述目标行人的胸厚;

处理模块,用于基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;

所述构建模块还用于构建基于侧身行为的扭转社会力模型;

仿真模块,用于在所述侧身约束条件的约束下,利用所述扭转社会力模型对所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到所述目标行人的目标行为轨迹。

[0007] 本公开实施例的第三方面,提供了一种电子设备,包括:至少一个处理器;用于存储至少一个处理器可执行指令的存储器;其中,至少一个处理器用于执行指令,以实现上述方法的步骤。

[0008] 本公开实施例的第四方面,提供了一种计算机可读存储介质,当计算机可读存储

介质中的指令由电子设备的处理器执行时,使得电子设备能够执行上述方法的步骤。

[0009] 本公开实施例采用的上述至少一个技术方案能够达到以下有益效果:构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定目标行人的运动相关信息;其中,狭窄区域的宽度小于目标行人的肩宽且大于目标行人的胸厚;基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息,确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;构建基于侧身行为的扭转社会力模型;在侧身约束条件的约束下,利用扭转社会力模型对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到目标行人的目标行为轨迹,能够基于行人的侧身行为,对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,提高了仿真的真实性。

附图说明

[0010] 为了更清楚地说明本公开实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

- [0011] 图1示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的示意图;
图2示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的旋转时机的示意图;
图3示出了本公开示例性实施例提供的行人的椭圆模型的旋转示意图;
图4示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的仿真方法的流程示意图;
图5示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的实验装置示意图;
图6示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的仿真装置的结构示意图;
图7示出了本公开示例性实施例提供的电子设备的结构示意图;
图8示出了本公开示例性实施例提供的计算机系统的结构示意图。

具体实施方式

[0012] 下面将参照附图更详细地描述本公开的实施例。虽然附图中显示了本公开的某些实施例,然而应当理解的是,本公开可以通过各种形式来实现,而且不应该被解释为限于这里阐述的实施例,相反提供这些实施例是为了更加透彻和完整地理解本公开。应当理解的是,本公开的附图及实施例仅用于示例性作用,并非用于限制本公开的保护范围。

[0013] 应当理解,本公开的方法实施方式中记载的各个步骤可以按照不同的顺序执行,和/或并行执行。此外,方法实施方式可以包括附加的步骤和/或省略执行示出的步骤。本公开的范围在此方面不受限制。

[0014] 本文使用的术语“包括”及其变形是开放性包括,即“包括但不限于”。术语“基于”是“至少部分地基于”。术语“一个实施例”表示“至少一个实施例”;术语“另一实施例”表示“至少一个另外的实施例”;术语“一些实施例”表示“至少一些实施例”。其他术语的相关定义将在下文描述中给出。需要注意,本公开中提及的“第一”、“第二”等概念仅用于对不同的装置、模块或单元进行区分,并非用于限定这些装置、模块或单元所执行的功能的顺序或者

相互依存关系。

[0015] 需要注意,本公开中提及的“一个”、“多个”的修饰是示意性而非限制性的,本领域技术人员应当理解,除非在上下文另有明确指出,否则应该理解为“一个或多个”。

[0016] 本公开实施方式中的多个装置之间所交互的消息或者信息的名称仅用于说明性的目的,而并不是用于对这些消息或信息的范围进行限制。

[0017] 作为交通出行的重要组成部分,行人的舒适性和安全性一直是研究的重点。在过去的几十年中,学者们对行人动力学进行了大量研究,并提出了多种微观模拟模型来模拟行人行为。具体来说,元胞自动机模型(Cellular Automata Model,CAM)和社会力模型(Social Force Model,SFM)分别是离散空间中基于规则的模型和连续空间中基于力的模型的代表。但是,CAM和SFM仍有一些不足之处。

[0018] 例如,由于网格间的移动取决于概率,CAM的结果是不可预测的。当转换概率相同时,大多数学者采用轮盘赌的方法来确定行人的行为,这就造成了较大的误差和较差的可信度。因此,CAM无法真实模拟异质人群不同出行行为所产生的交互影响。

[0019] 又例如,SFM的运行速度较慢,且存在粒子盲动、行人重叠、算法复杂度高等明显缺点,因此,很多学者提出了基于智能体的CAM和基于智能体的SFM,并在模型中加入行人生理、心理或出行特征等异质性因素,对微观行人模拟模型进行了改进,以提高仿真的真实性。

[0020] 然而,很多学者都忽略了行人最常见的出行行为:侧身。在实地研究中,发现人们更喜欢通过身体的小角度旋转来完成超越行为、避让行为和通过狭窄空间的行为,而不是像目前的模拟结果那样选择改变运动方向、停止运动或绕行。与转弯行为不同的是,侧向行为通过身体旋转来改变行人占据的空间,以使行人保持与狭窄区域的墙壁或其他行人之间的距离,而行走方向不会改变。

[0021] 因此,为了解决上述问题,本公开实施例提供了一种狭窄区域的穿越行为的仿真方法,根据生物力学原理,在传统SFM的基础上增加了扭转力,并提出了侧身意愿的概念。这一概念建立了扭转力与排斥力之间的关系,使SFM模拟的理论情况与实际情况更加吻合。同时,鉴于现有模拟方案的局限性,本公开示例性实施例针对狭窄区域的穿越行为建立了扭转社会力模型,并进行了大量的实际实验来验证扭转社会力模型的可靠性。

[0022] 本公开实施例提供的狭窄区域的穿越行为的仿真方法,其可以由终端执行,也可以由应用于终端的芯片执行。

[0023] 示例性的,上述终端可以包括手机、平板电脑、可穿戴设备、车载设备、笔记本电脑、超级移动个人计算机(ultra-mobile personal computer,UMPC)、上网本、掌上电脑(Personal Digital Assistant,PDA)、以及基于增强现实(augmented reality,AR)和/或虚拟现实(virtual reality,VR)技术的可穿戴设备等中的一种或多种,本公开示例性实施例对此不作具体限制。

[0024] 一、确定侧向行为

为了最真实地模拟行人的微观行为,本公开示例性实施例采用椭圆模型表示行人身体,并尝试计算椭圆模型之间的距离,作为行人之间的距离,以便后续修正基于扭转力的社会力模型。在直角坐标系中, a_i 表示第 i 个行人的椭圆模型的长半轴, b_i 表示第 i 个行人的椭圆模型的短半轴, $2a_i$ 表示第 i 个行人的肩宽, $2b_i$ 表示第 i 个行人的胸部的厚度, θ_i 表示第 i

个行人的旋转角度;其中, a_i 和 b_i 均为常数,且 $a_i > b_i$ 。

[0025] 基于此,本公开示例性实施例可以适时模拟行人的侧向行为,讨论在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件,并给出对应的侧身的发生条件。

[0026] 需要注意的是,本公开示例性实施例不考虑行人在移动过程中身体轻微晃动造成的旋转角度,将忽略的该角度范围定义为 $|\theta_0| < 11^\circ$,其中, θ_0 表示行人在移动过程中身体轻微晃动造成的旋转角度。同时,本公开示例性实施例认为临时改变移动方向的智能体旋转是由驱动力控制的,不在本公开示例性实施例的讨论范围之内。

[0027] 在狭窄区域的穿越行为中,行人的侧身约束条件可以包括侧倾角约束、侧身距离约束和侧身时间约束。

[0028] (1) 确定侧倾角约束

这种情况经常发生在狭窄区域或捷径上,由于狭窄区域或捷径的入口宽度较窄,行人需要侧身改变姿势才能通过,但通过狭窄区域或捷径可以更快地到达目的地。

[0029] 图1示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的示意图。如图1所示,以狭窄区域为例,狭窄区域的宽度(L)小于行人的肩宽($2a$)且大于行人的胸厚($2b$),当行人侧身后的身体旋转宽度(d)小于或等于狭窄区域的宽度(L)时,行人可以通过侧身完成穿越行为。因此,可以根据狭窄区域的宽度计算出行人的旋转角度(θ),同时可以得到行人在狭窄区域进行侧身行走的侧倾角约束。

[0030] 因此,在狭窄区域的穿越行为中,行人的旋转角度约束(也即侧倾角约束)如下:

$$\theta = \begin{cases} \arccos\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right), & d \leq L \text{ 且 } 2b < L < 2a \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

假设在侧身状态下,行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离(ζ_w)非常小, ζ_w 可以为常数,但这个常数不能忽略,否则会导致扭转社会力模型出现较大误差。此时,假设 $d = L - 2\zeta_w$,代入式(1)可以得到最小旋转角度。其中,最小旋转角度可以通过下式(2)进行表示:

$$\theta_{min} = \arccos\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{L - 2\zeta_w}{2}\right)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right) \quad (2)$$

其中, ζ_w 可以为通过实际实验得到的一个常数。

[0031] 而在行人通过狭窄区域后,现有研究都认为行人从旋转姿势立即恢复到原始行走姿势。然而,行人在完成侧向行为后恢复原来身体姿态的过程需要时间,尽管这个时间很短。因此,为了保证仿真结果的真实性,在行人通过狭窄区域后,将 $\theta=0$ 设置在 T_p 内, T_p 表示行人的旋转姿势恢复到原始行走姿势所需要的时间,其中, T_p 为常数。

[0032] 基于此,本公开示例性实施例作出假设:从旋转姿势恢复到原始行走姿势需要时间,这个时间不应该被忽略。

[0033] (2) 确定侧身距离约束和侧身时间约束

在确定狭窄区域或捷径场景中的行人侧身的旋转角度后,还需要讨论行人侧身的侧身时机。本公开示例性实施例可以计算行人的旋转开始位置与固定障碍物之间的距离(D_r),这可以作为侧身约束条件。此处,固定障碍物可以是狭窄区域的墙壁。

[0034] 在这种情况下,行人只需与固定障碍物进行互动。因此,本公开示例性实施例只需找到行人与固定障碍物之间可接受的最小旋转距离。

[0035] 图2示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的旋转时机的示意图。如图2所示, $I(x_0, y_0)$ 表示行人的初始位置, $A(x_a, y_a)$ 表示狭窄区域的墙壁的边缘位置, $B(x_a, y_0)$ 表示行人的初始位置所在水平线的X轴与狭窄区域的墙壁的边缘位置在X轴方向上投影的交点, $O(x, y_0)$ 表示行人的旋转开始位置, $O'(x', y_0)$ 表示行人旋转到狭窄区域的墙壁的位置。

[0036] 然后,可以通过 $x = x_0 + v(t) \cdot T_b$ 和 $x' = x + v(t) \cdot t_r$ 计算出 $O(x, y_0)$ 和 $O'(x', y_0)$ 的坐标,其中, $v(t)$ 表示行人在第 t 时刻的期望速度, T_b 表示目标行人的旋转开始时刻,也即侧身

时间, t_r 表示行人的旋转时间, $t_r = \frac{\theta}{\omega}$, ω 表示实验测得的常数,用于表示角速度。

[0037] 显然, $O'A = \sqrt{(x_a - x')^2 + (y_a - y_0)^2} \geq a + \zeta_w$,则:

$$D_T = x_a - x \geq \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (y_a - y_0)^2} + v(t) \cdot t_r \quad (3)$$

其中, D_T 表示行人的旋转开始位置与狭窄区域的墙壁之间的距离。

[0038] 此时,可以认为 $y_a - y_0 = \frac{L}{2}$ 。

[0039] 因此,代入上述公式,可以得到在狭窄区域的穿越行为中,行人的侧身距离约束为:

$$D_T = \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (\frac{L}{2})^2} + v(t) \cdot t_r \quad (4)$$

此外,还可以得到在狭窄区域的穿越行为中,行人的侧身时间约束为:

$$T_b \leq \frac{x_a - x_0 - \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (\frac{L}{2})^2}}{v(t)} - t_r \quad (5)$$

二、扭转社会力模型

根据传统的社会力模型(Social Force Model, SFM),第 i 个行人在复杂环境中的运动模型由第 i 个行人的驱动力、第 i 个行人与其他行人如第 j 个行人之间的相互作用力和第 i 个行人和固定障碍物之间的相互作用力进行表示。其中,社会力模型可以通过下述公式进行表示:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = F_i + \sum_{j=1, j \neq i}^J F_{ij} + \sum_{w=1}^W F_{iw} \quad (6)$$

$$F_i = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau} \quad (7)$$

$$F_{ij} = A_i \exp\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right) n_{ij} + k_n g(r_{ij} - d_{ij}) n_{ij} + k_t g(r_{ij} - d_{ij}) [(v_j - v_i)^T t_{ij}] \cdot t_{ij} \quad (8)$$

$$F_{iw} = A_i \exp\left(\frac{r_i - d_{iw}}{B_i}\right) n_{iw} + k_n g(r_i - d_{iw}) n_{iw} + k_t g(r_i - d_{iw}) [v_i^T t_{iw}] \cdot t_{iw} \quad (9)$$

其中, m_i 表示第 i 个行人即目标行人的质量, v_i 表示第 i 个行人的实际速度, v_j 表示第 j 个行人即非目标行人的实际速度, F_i 表示第 i 个行人的驱动力, F_{ij} 表示第 i 个行人与第 j 个行人之间的相互作用力, J 表示除第 i 个行人之外的行人的总数量, F_{iw} 表示第 i 个行人和固定障碍物之间的相互作用力, W 表示固定障碍物的总数量, $v_i^0(t)$ 表示第 i 个行人的初始速度, $e_i^0(t)$ 表示第 i 个行人在 t 时刻指向期望目标的单位矢量, $v_i(t)$ 表示第 i 个行人在 t 时刻的期望速度, τ 表示一定的特征时间, A_i 表示社会作用力的强度, B_i 表示社会作用力的范围, A_i 和 B_i 均为常数, r_{ij} 表示第 i 个行人和第 j 个行人的半径和, d_{ij} 表示第 i 个行人和第 j 个行人的质心间距, d_{iw} 表示第 i 个行人和固定障碍物的质心间距, n_{ij} 表示第 j 个行人指向第 i 个行人的归一化矢量, n_{iw} 表示第 j 个行人指向固定障碍物的归一化矢量, k_n 表示身体压缩系数, k_t 表示滑动摩擦系数, t_{ij} 表示第 i 个行人和第 j 个行人的切线方向, t_{iw} 表示第 i 个行人和固定障碍物的切线方向, $g(x) = \max(x, 0)$ 表示第 i 个行人和第 j 个行人或固定障碍物互不接触。此处, 固定障碍物可以对应为本公开示例性实施例中的狭窄区域的墙壁。

[0040] 原有的社会力模型显然无法真实有效地模拟行人的旋转行为。因此, 为了更好地模拟行人的旋转行为, 本公开示例性实施例提出了一个扭转社会力模型 (T-SFM), 其中增加了两个元素: 扭转力和旋转意愿。

[0041] (1) 扭转力

根据观察到的结果, 本公开示例性实施例认为只有行人的肩部和核心部位发力使上半身旋转, 并形成自身的扭矩来完成侧向行为。而原有的行走速度和行走方向均不会改变。根据生物力学原理, 人体的姿势调节是通过肌肉的收缩和放松来实现的。当身体要旋转时, 肌肉会调整身体的重心, 从而影响旋转惯性。具体来说, 当行人想要快速旋转时, 肌肉会收缩并将身体重心向内移动, 从而减小旋转惯性, 进而提高旋转速度, 快速完成侧向行为。相反, 当人体试图减慢旋转速度时, 其肌肉会放松, 导致人体重心外移, 从而增加旋转惯性, 减慢旋转速度。此外, 人体还可以通过调整肌肉力量来改变旋转速度。随着肌肉力量的增加, 身体能够产生更大的扭矩, 从而提高旋转速度和侧身速度。

[0042] 因此, 扭转力与转动惯量和扭矩有关。图3示出了本公开示例性实施例提供的行人的椭圆模型的旋转示意图。如图3所示, 根据生物动力学的描述, 由椭圆模型表示的行人将围绕垂直于椭圆中心点的虚拟轴 OM 完成旋转。假设行人的椭圆模型为质量均匀分布的椭圆, 椭圆的方程为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, a > b > 0 \quad (10)$$

转动惯量可以通过如下公式进行表示:

$$I = \iint_D (x^2 + y^2) dm = \sigma \iint_D (x^2 + y^2) dx dy \quad (11)$$

其中, I 表示椭圆模型的转动惯量, D 表示平面积分区域, m 表示椭圆模型的质量, σ 表示椭圆模型的密度。

[0043] 根据广义极坐标变换, 则,

$$x = a \cos \alpha \quad (12)$$

$$y = b \sin \alpha \quad (13)$$

其中, r 表示极径, $r \in [0, 1]$, α 表示极坐标的极角, $\alpha \in [0, 2\pi]$ 。

[0044] 此时, 则有,

$$I = \sigma \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^1 [(a \cos \alpha)^2 + (b \sin \alpha)^2] (abr) dr = \frac{1}{4} m(a^2 + b^2) \quad (14)$$

此外, 根据扭矩与转动惯量的关系, 以及扭矩与扭力的关系, 可以得到如下公式:

$$F_T \times l = T = I \times a_r \quad (15)$$

其中, F_T 表示扭力, l 表示力臂, 且 $l = a$, a_r 表示角加速度, $a_r = \frac{dw}{dt_r}$, w 表示角速度,

$w = \frac{d\theta}{dt_r}$, θ 表示旋转角度, $\theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$, t_r 表示旋转时间。

[0045] 因此, 可以得到:

$$F_T = \frac{\frac{1}{4} m(a^2 + b^2) \times \frac{d^2\theta}{d^2t_r}}{a} \quad (16)$$

基于此, 可以得到第 i 个行人的扭力为:

$$F_{iT} = m_i \frac{a_i^2 + b_i^2}{4a_i} \frac{d^2\theta_i}{d^2t_{ir}} \quad (17)$$

(2) 旋转意愿

在传统的社会力模型中, 行人之间的碰撞是通过心理排斥力来避免的。但是, 当行人侧身避让或超越时, 心理排斥力会发生变化。因此, 本公开示例性实施例根据行人的动态密度对社会力模型的心理排斥力进行修正, 并在扭转社会力模型中增加了避撞力和侧身意愿, 以改进传统的社会力模型。

[0046] 其中, 在社会力模型中, 心理排斥力可以表示为: $(A_i \exp(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}) n_{ij}, A_i \exp(\frac{r_{iw} - d_{iw}}{B_i}) n_{iw})$ 。

[0047] 在扭转社会力模型中, 首先计算行人周围的人群密度与行人面积的无量纲乘积:

$$\tilde{\rho} = \rho \cdot \pi a_i b_i,$$

其中, ρ 表示行人的动态密度, $\tilde{\rho} \in (0, 1)$ 。

[0048] 然后, 将社会作用力的强度调整为 $A_i \bar{w}$, 将社会作用力的范围调整为 $B_i \bar{w}$, 其中, \bar{w} 表示调整系数, $\bar{w} = \exp(1 - \tilde{\rho})$ 。这样, 行人就可以根据环境调整心理排斥力, 完成更多的

行为。

[0049] 同时,为了限制行人在超越行为或避让行为中发生不必要的接触和碰撞,本公开示例性实施例还在扭转社会力模型中增加避撞力作为约束条件。其中,避撞力可以表示为:

$$F_{ij}^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_c \bar{\omega}}\right) n_{ij} \quad (18)$$

$$F_{iw}^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_{iw} - d_{iw}}{B_c \bar{\omega}}\right) n_{iw} \quad (19)$$

其中, F_{ij}^C 表示第 i 个行人与第 j 个行人之间的碰撞力, F_{iw}^C 表示第 i 个行人与和狭窄区域的墙壁之间的碰撞力, A_c 表示碰撞力的强度, B_c 表示碰撞力的范围, A_c 和 B_c 均为常数。

[0050] 为了避免排斥力干扰侧向行为,本公开示例性实施例还在扭转社会力模型中增加侧身意愿作为约束条件。其中,侧身意愿可以表示为:

$$\xi(F_{iT}) = \exp(-F_{iT}) \quad (20)$$

基于此,扭转社会力模型可以表示为:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = F_i + \sum_{j=1, j \neq i}^J (F_{ij} + F_{ij}^C) \cdot \xi(F_{iT}) + \sum_{w=1}^W (F_{iw} + F_{iw}^C) \cdot \xi(F_{iT}) \quad (21)$$

$$F_i = m_i \frac{v_i^0(t) e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau} \quad (22)$$

$$F_{ij} = A_i \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i \bar{\omega}}\right) n_{ij} + k_n g(r_{ij} - d_{ij}) n_{ij} + k_t g(r_{ij} - d_{ij}) [(v_j - v_i)^T t_{ij}] \cdot t_{ij} \quad (23)$$

$$F_{iw} = A_i \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_{iw} - d_{iw}}{B_i \bar{\omega}}\right) n_{iw} + k_n g(r_{iw} - d_{iw}) n_{iw} + k_t g(r_{iw} - d_{iw}) [v_i^T t_{iw}] \cdot t_{iw} \quad (24)$$

$$F_{ij}^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_c \bar{\omega}}\right) n_{ij} \quad (25)$$

$$F_{iw}^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_{iw} - d_{iw}}{B_c \bar{\omega}}\right) n_{iw} \quad (26)$$

$$\bar{a}_i = \frac{dv_i}{dt} = \frac{F_i + \sum_{j=1, j \neq i}^J (F_{ij} + F_{ij}^C) \cdot \xi(F_{iT}) + \sum_{w=1}^W (F_{iw} + F_{iw}^C) \cdot \xi(F_{iT})}{m_i} \quad (27)$$

$$v_i(t) = v_i^0(t) e_i^0(t) + \bar{a}_i t \quad (28)$$

$$s_i(t) = s_i(0) + \int_0^t v_i(t) dt \quad (29)$$

其中, \bar{a}_i 表示第 i 个行人在 t 时刻的加速度, $s_i(t)$ 表示第 i 个行人在 t 时刻的位置, $s_i(0)$ 表示第 i 个行人在初始时刻的初始位置。

[0051] 基于此,本公开示例性实施例提出了一种狭窄区域的穿越行为的仿真方法,其可

可以由终端执行,也可以由应用于终端的芯片执行。终端的相关内容可以参见前文,此处不再赘述。

[0052] 图4示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的仿真方法的流程示意图。如图4所示,该狭窄区域的穿越行为的仿真包括:

S401,构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定目标行人的运动相关信息;其中,狭窄区域的宽度小于目标行人的肩宽且大于目标行人的胸厚;

S402,基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息,确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;

S403,构建基于侧身行为的扭转社会力模型;

S404,在侧身约束条件的约束下,利用扭转社会力模型对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到目标行人的目标行为轨迹。

[0053] 具体地,上述目标模型可以为前文中的椭圆模型,椭圆模型的长半轴的2倍用于表征目标行人的肩宽,椭圆模型的短半轴的2倍用于表征目标行人的胸厚,狭窄区域的宽度小于目标行人的肩宽且大于目标行人的胸厚,此时,目标行人需要侧身改变姿势才能通过狭窄区域。

[0054] 上述运动相关信息与目标行人的位置信息和侧身行为或旋转行为相关。本公开示例性实施例可以基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息,确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件。

[0055] 同时,本公开示例性实施例可以构建基于侧身行为的扭转社会力模型,在侧身约束条件的约束下,利用扭转社会力模型对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到目标行人的目标行为轨迹。该扭转社会力模型可以能够对目标行人在穿越行为中出现的侧身行为进行仿真,提高仿真结果的真实性。

[0056] 根据本公开示例性实施例的技术方案,通过构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定目标行人的运动相关信息;其中,狭窄区域的宽度小于目标行人的肩宽且大于目标行人的胸厚;基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息,确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;构建基于侧身行为的扭转社会力模型;在侧身约束条件的约束下,利用扭转社会力模型对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到目标行人的目标行为轨迹,能够基于行人的侧身行为,对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,提高了仿真的真实性。

[0057] 在一些实施例中,运动相关信息可以包括身体旋转宽度,身体旋转宽度小于或等于狭窄区域的宽度,侧身约束条件可以包括侧倾角约束;基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息,确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件,可以包括:

基于目标模型、狭窄区域的宽度和身体旋转宽度,计算侧倾角约束。

[0058] 示例性的,侧倾角约束的计算公式可以为:

$$\theta = \begin{cases} \arccos\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right), & d \leq L \text{ 且 } 2b < L < 2a \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, θ 表示目标行人的旋转角度,也即侧倾角, a 表示目标行人的椭圆模型的长

半轴, b 表示目标行人的椭圆模型的短半轴, $2a$ 表示目标行人的肩宽, $2b$ 表示目标行人的胸厚, a 和 b 均为常数, 且 $a > b$, L 表示狭窄区域的宽度, d 表示目标行人侧身后的身体旋转宽度;

假设 $d = L - 2\zeta_w$, 则:

$$\theta_{\min} = \arccos\left(\sqrt{\frac{(L - 2\zeta_w)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right) \quad (2)$$

其中, θ_{\min} 表示目标行人的最小旋转角度, ζ_w 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离, 为通过实际实验得到的一个常数。

[0059] 在一些实施例中, 运动相关信息还可以包括初始位置、期望速度和旋转角速度, 侧身约束条件还包括侧身时间约束; 基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息, 确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件, 还可以包括:

基于旋转角速度和侧倾角约束, 计算目标行人的旋转时间;

基于目标模型、初始位置、期望速度和旋转时间, 计算侧身时间约束。

[0060] 示例性的, 目标行人的旋转时间的计算公式可以为 $t_r = \frac{\theta}{\omega}$, 其中, t_r 表示目标行人的旋转时间, $t_r = \frac{\theta}{\omega}$, ω 表示实验测得的常数, 用于表示目标行人的旋转角速度。

[0061] 示例性的, 侧身时间约束的计算公式可以为:

$$T_b \leq \frac{x_a - x_0 - \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (\frac{L}{2})^2}}{v(t)} - t_r,$$

其中, T_b 表示目标行人的旋转开始时刻, 也即侧身时间, (x_0, y_0) 表示目标行人的初始位置, (x_a, y_a) 表示狭窄区域的墙壁的边缘位置, (x_a, y_0) 表示目标行人的初始位置所在水平线的 X 轴与狭窄区域的墙壁的边缘位置在 X 轴方向上投影的交点, (x, y_0) 表示目标行人的旋转开始位置, (x', y_0) 表示目标行人旋转到狭窄区域的墙壁的位置, $x = x_0 + v(t) \cdot T_b$, $x' = x + v(t) \cdot t_r$, $v(t)$ 表示目标行人在第 t 时刻的期望速度, ζ_w 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离, 为通过实际实验得到的一个常数, L 表示狭窄区域的宽度。

[0062] 在一些实施例中, 侧身约束条件还可以包括侧身距离约束; 基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息, 确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件, 还可以包括:

基于目标模型、初始位置、期望速度、旋转时间、心理距离和侧身时间约束, 计算侧身距离约束;

示例性的, 侧身距离约束的计算公式可以为:

$$D_T = x_a - x \geq \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (y_a - y_0)^2} + v(t) \cdot t_r,$$

其中, D_T 表示目标行人在旋转开始时刻与狭窄区域的墙壁之间的距离;

假设 $y_a - y_0 = \frac{L}{2}$, 则:

$$D_T = \sqrt{(a + \xi_w)^2 - (\frac{L}{2})^2} + v(t) \cdot t_r。$$

[0063] 在一些实施例中, 构建基于侧身行为的扭转社会力模型, 可以包括:

获取与目标行人的侧向行为有关的侧向行为作用力, 侧向行为作用力包括目标行人的驱动力、目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和目标行人的侧身意愿;

基于目标行人的驱动力、目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和目标行人的侧身意愿, 构建基于侧身行为的扭转社会力模型。

[0064] 具体地, 由于在狭窄区域的穿越行为中可以涉及目标行人即前文中的第 i 个行人和狭窄区域的墙壁, 而不涉及非目标行人即前文中的第 j 个行人, 此时, 结合前文的描述可知, 与目标行人的侧向行为有关的侧向行为作用力可以包括: 目标行人的驱动力、目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和目标行人的侧身意愿。

[0065] 示例性的, 扭转社会力模型通过下述公式进行表示:

$$m \frac{dv}{dt} = F + \sum_{w=1}^W (F_w + F_w^C) \cdot \xi(F_T) \quad (30)$$

$$F = m \frac{v^0(t)e^0(t) - v(t)}{\tau} \quad (31)$$

$$F_w = A\bar{\omega} \exp\left(\frac{r - d_w}{B\bar{\omega}}\right) n_w + k_n g(r - d_w) n_w + k_t g(r - d_w) [v^T t_w] \cdot t_w \quad (32)$$

$$F_w^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_w - d_w}{B_c \bar{\omega}}\right) n_w \quad (33)$$

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{F + \sum_{w=1}^W (F_w + F_w^C) \cdot \xi(F_T)}{m} \quad (34)$$

$$\xi(F_T) = \exp(-F_T) \quad (35)$$

$$F_T = m \frac{a^2 + b^2}{4a} \frac{d^2\theta}{d^2t_r} \quad (36)$$

$$v(t) = v^0(t)e^0(t) + \bar{a}t \quad (37)$$

$$s(t) = s(0) + \int_0^t v(t) dt \quad (38)$$

其中, m 表示目标行人的质量, v 表示目标行人的实际速度, F 表示目标行人的驱动力, F_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁之间的相互作用力, F_w^C 表示目标行人与狭窄区域的

墙壁之间的碰撞力, W 表示狭窄区域的墙壁的总数量, $\xi(F_T)$ 表示目标行人的侧身意愿, F_T 表示目标行人的扭力, $v^0(t)$ 表示目标行人的初始速度, $e^0(t)$ 表示目标行人在 t 时刻指向期望目标的单位矢量, $v(t)$ 表示目标行人在 t 时刻的期望速度, τ 表示一定的特征时间, A 表示社会作用力的强度, B 表示社会作用力的范围, A 和 B 均为常数, $\bar{\omega}$ 表示调整系数, r 表示目标行人的半径, d_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁的质心间距, n_w 表示目标行人指向狭窄区域的墙壁的归一化矢量, k_n 表示身体压缩系数, k_t 表示滑动摩擦系数, t_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁的切线方向, $g(x) = \max(x, 0)$ 表示目标行人和狭窄区域的墙壁互不接触, A_c 表示碰撞力的强度, B_c 表示碰撞力的范围, A_c 和 B_c 均为常数, \bar{a} 表示目标行人在 t 时刻的加速度, a 表示目标行人的椭圆模型的长半轴, t_r 表示目标行人的旋转时间, b 表示目标行人的椭圆模型的短半轴, $s(t)$ 表示目标行人在 t 时刻的位置, $s(0)$ 表示目标行人在初始时刻的初始位置。

[0066] 本公开实施例采用的上述至少一个技术方案能够达到以下有益效果:通过构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定目标行人的运动相关信息;其中,狭窄区域的宽度小于目标行人的肩宽且大于目标行人的胸厚;基于目标模型、狭窄区域的宽度和运动相关信息,确定目标行人在狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;构建基于侧身行为的扭转社会力模型;在侧身约束条件的约束下,利用扭转社会力模型对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到目标行人的目标行为轨迹,能够基于行人的侧身行为,对目标行人在狭窄区域的穿越行为进行仿真,提高了仿真的真实性。

[0067] 基于此,本公开示例性实施例进行了模拟实验和仿真实验,以验证扭转社会力模型的真实性和普遍性。

[0068] 一、模拟实验:验证真实性

1、实际实验的设置和数据收集

从前文中可以得出,行人的侧向行为与旋转角度或倾侧角、侧身距离和侧身时间有关。为了验证模型的准确性并校准模型参数,本公开示例性实施例进行了大量实际实验。

[0069] 本公开示例性实施例用 $0.8m \times 0.5m \times 0.6m$ 最大倾侧角的纸箱搭建了相应的实验场景,并分别绘制了实验装置示意图,图5示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的实验装置示意图。需要注意的是,图中每个方格代表三个堆叠的纸箱($0.8m \times 0.5m \times 1.8m$),这就保证了行人的肩膀必须受到墙壁的约束。而这正是之前的研究所忽略的。肩部是行人身体模型中最宽的部分,如果不对肩部进行约束,行人的侧向行为可能会超出设定的边界。因此,与之前的研究相比,本公开示例性实施例从设置的角度提高了真实性。

[0070] 实验共招募了12名男性志愿者和5名女性志愿者,编号分别为1至17。此外,本公开示例性实施例还为每位成员准备了一些彩色帽子和肩贴,志愿者的具体信息如表1所示,表1示出了本公开示例性实施例提供的志愿者的具体信息。此外,本公开示例性实施例使用佳能最大倾侧角G7 X Mark III最大倾侧角摄像机垂直于地面进行拍摄,视频范围可以覆盖实验区域;并在每个情况的通道正前方设置一个最大倾侧角GoPro HERO11 Black Mini,用于提取行人与狭窄区域的墙壁或其他行人之间的距离。本公开示例性实施例使用视频处理平台 Ulead Video Studio (UVS) 和轨迹分析软件 PeTrack (PT) 来处理视频数据。

[0071] 表1 志愿者的具体信息

编号	性别 (男/女)	年龄	身高 (cm)	体重 (kg)	行走速度 (m/s)	肩宽 (m)	胸厚 (m)	角速度 (rad/s)
1	男	22	175	60	1.318	0.498	0.253	147.01
2	男	21	174	75	1.305	0.487	0.211	129.71
3	男	21	170	80	1.361	0.491	0.201	116.09
4	女	20	160	47	1.233	0.343	0.146	146.73
5	男	23	168	54	1.443	0.448	0.157	189.94
6	女	27	158	45	1.057	0.324	0.152	159.81
7	男	26	174	72	1.381	0.511	0.184	155.47
8	女	24	164	55	1.060	0.361	0.231	171.84
9	女	23	170	56	1.186	0.336	0.162	159.78
10	男	23	182	70	1.065	0.521	0.245	183.22
11	男	23	178	68	1.252	0.476	0.241	112.23
12	男	24	178	65	1.340	0.516	0.202	119.07
13	男	26	187	85	1.274	0.548	0.293	147.57
14	男	24	173	67	1.232	0.462	0.222	106.04
15	男	23	167	83	1.101	0.414	0.29	112.93
16	女	27	165	57	1.256	0.388	0.19	129.44
17	男	26	187	85	1.067	0.549	0.295	109.84

[0072] 此外,表1中的行走速度和角速度分别是小数点后保留三位数和小数点后保留两位数。在计算中,本公开示例性实施例使用的是不带小数储备的原始数据。

[0073] 狭窄区域的穿越行为的实验的详细设置:将狭窄区域的通道宽度分别设置 $L=0.3\text{m}$ 、 0.4m 、 0.5m 和 0.6m ,并在窄道上方设置一个垂直摄像头记录行人的行走过程。之后,要求17名行人在不改变行走方向和速度的情况下通过狭窄通道到达目的地。这样,就可以通过68组视频数据来校准上述行人参数。

[0074] 2、实际实验的数据处理和分析

在实验中,倾侧角或旋转角度 θ ,侧身前行人与狭窄区域的墙壁或其他行人之间的距离,也即侧身距离 D_t 和侧身时间 T_b 是以25Hz(25帧=1秒)的频率从PT获取的。

[0075] (1) 倾侧角

实验结果显示,行人的最大倾侧角即最大倾侧角 θ_{max} 与通道的宽度 L 呈负相关。随着 L 的增加, θ_{max} 逐渐减小,这与本公开示例性实施例的假设一致。

[0076] 同时,行人有两个旋转方向,大部分行人向左旋转($\theta \in [0, \frac{\pi}{2}]$),少数向右旋转($\theta \in [-\frac{\pi}{2}, 0]$)。这一结果表明,行人在侧身行驶时有不同的方向选择。进一步分析表明,12号行人总是向右旋转,而2号行人则向左和向右旋转。由此可见,人行道的走向与行人自身的决定密切相关。在狭窄区域的穿越行为的实验中,旋转方向不影响最终结果,因此本公开示例性实施例在此不再进行进一步的分析。

[0077] 此外,若行人的肩宽和胸厚明显大于其他行人,当侧身通过通道时,该行人的行走方式变为横向,从而被迫改变行走速度。需要说明的是,本公开示例性实施例没有将该行人

列为异常值,因为不排除在实际情况中存在相对强壮的人,虽然行人在旋转位置的速度设定为保持不变。因此,该行人的存在将更好地验证本公开示例性实施例所提模型的普适性。

[0078] (2) 侧身距离和侧身时间

根据上述描述,不难发现本公开示例性实施例的假设中 D_T 和 T_b 呈现负相关关系, D_T 随着 L 的增大而减小,而 T_b 随着 L 的增大而增大。然而,由于行人的异质性,本公开示例性实施例无法确定这种负相关关系在实际实验中是否存在。因此,本公开示例性实施例在每组实验中提取 D_T 和 T_b ,并对其进行对比分析。

[0079] 结果显示,当行人只与狭窄区域的墙壁相互作用时,旋转时机确实与 L 相关,并且这两个参数 D_T 和 T_b 与旋转时机之间存在负相关。同时,当 L 增加到大多数人不需要侧身通过狭窄通道时, D_T 和 T_b 的变化幅度会变小,并逐渐趋于稳定。

[0080] (3) 重置时间

在处理数据的过程中,本公开示例性实施例发现实际实验的结果证实了 T_p 的另一个假设,即行人需要一定的时间才能恢复到原来的行走姿势。因此,本公开示例性实施例还提取了每个行人在不同 L 下的 T_p ,以对这一问题进行定量分析。

[0081] 结果显示,旋转角度会随着通道宽度的增加而减小,因此重置时间 T_p 也会相应减少。然而,其平均值在6-14帧之内,即0.24-0.56秒,而且在本公开示例性实施例的假设中,侧向行为只会改变行走姿势,而不会改变行走速度。因此,在扭转社会力模型中,如果重置时间的设置满足最大情况,则所有情况都可以满足,不会影响仿真结果。

[0082] 此外,本公开示例性实施例还发现,男性的重置时间多于女性。由于男性的体型普遍大于女性,因此男性的旋转角度更大,从而导致重置时间更长。不过,两者的静止时间只相差不到2帧,即只有0.08秒,几乎可以忽略不计。因此,本公开示例性实施例忽略了性别对重置时间的影响。

[0083] 综上所述,目前在扭转社会力模型中加入重置时间 T_p 的创新是合理的,本公开示例性实施例将实验结果与传统SFM的特征时间结合起来,设定 $T_p=0.5s$ 。

[0084] (4) 心理距离

将摄像机录制的视频放在通道正前方,本公开示例性实施例使用PT软件对视频进行处理。通过校对行人高度和场景数据,可以得到每个行人与狭窄区域的墙壁之间的距离。如果行人不侧身,则会提取行人在行走过程中与狭窄区域的墙壁之间的最小距离,从而得到在不同的 L 设置下每个行人的心理距离 ζ_w 。

[0085] 当通道宽度满足行人直接通过即不需要侧身时,大多数行人还是会选择从靠近纸箱的一侧通过,而不是像本公开示例性实施例预想的那样从两个纸箱的中间通过,这就导致了不同 L 下的平均心理距离差别不大的情况。造成这一结果的原因可能是,实验从 $L=0.3m$ 开始,逐渐增加 L 的长度,使行人产生了一定的习惯性。不过,这并不影响最终结果,因为行人在侧身情况下获得的心理距离是准确的。

[0086] 同时,本公开示例性实施例统计了不同性别行人的心理距离结果,发现男性的心理距离普遍小于女性,这符合正常认知。

[0087] 因此,如果在扭转社会力模型中根据平均心理距离粗略地设置服从Uniform最大倾侧角[2,3] (cm) 分布的参数,可能会导致仿真结果出现不可忽略的误差。因此,本公开示例性实施例充分考虑了行人的异质性,将男性心理距离设定为服从Uniform最大倾侧角[1.9-2.1] (cm) 分布,女性心理距离设定为服从Uniform最大倾侧角[3.0-3.2] (cm) 分布。

[0088] 3、设置模拟环境

本公开示例性实施例将改变行人的身体模型并添加侧向行为模型。而基于SFM的传统扭转社会力模型有很多可以满足本公开示例性实施例的要求,但在比较了底层逻辑修改的可操作性后,本公开示例性实施例选择了带有JAVA2.0的Anylogic Professional 8.7.0作为基本扭转社会力模型进行修改,仿真将在Intel (R) Core (TM) i5-10210U 1.60GHZ PC和4GB内存下运行。

[0089] 首先,本公开示例性实施例需要改变身体模型。通过Anylogic的agent模块,本公开示例性实施例将行人的二维模型从原来的圆形改为椭圆形,并根据表1中记录的行人身体参数(包括行人的质量、肩宽、胸围和性别),建立了17个椭圆模型,行人编号为1至17。

[0090] 然后,本公开示例性实施例使用state diagram模块为每个椭圆模型添加侧身状态和旋转条件。根据身体模型,本公开示例性实施例设定了倾侧角约束,并将该角度与身体姿势联系起来。同时,本公开示例性实施例通过添加过渡条件来构建侧身距离约束和侧身时间约束,当上述侧身约束条件满足条件时,椭圆模型将发生姿势变化。在完成侧向行为时,行人的姿态仍会受到过渡条件的影响而发生变化,即当行人与狭窄区域的墙壁或其他行人的距离大于最大心理距离时,将触发重置旋转条件。重置时间结束后,行为体的姿势将恢复到原来的行走状态,从而完成侧向行为。

[0091] 此外,本公开示例性实施例使用软件的social force setting模块,根据提出的改进的SFM来改变传统的SFM,该模块改变了行人处于侧身姿势时的排斥力大小,增加了侧身意愿和扭转力。此外,为了确保模拟结果的准确性,本公开示例性实施例还根据实验结果设置了不同条件下的心理距离范围。

[0092] 最后,本公开示例性实施例构建了仿真环境和行人行走逻辑。并根据实际实验结果,设定行人的行走速度、角速度和重置时间等仿真参数,完成了三种情况下行人侧向行为扭转社会力模型的建立。

[0093] 4、仿真实验的定性结果

本公开示例性实施例的模型可以有效地模拟行人的侧身行为。行人可以通过旋转来改变身体姿势,完成更合理的出行行为。因此,从定性的角度来看,本公开示例性实施例认为本公开示例性实施例提出的模型是有效的。

[0094] 5、仿真实验的定量结果

为了进一步验证扭转社会力模型的效果,本公开示例性实施例选择了倾侧角、侧身距离和侧身时间这些指标进行定量评估。本公开示例性实施例分别提取了不同通道宽度下行人的倾侧角、侧身距离和侧身时间的绝对值。由于扭转社会力模型中的行人不会产生类似于真实行人行走时的身体晃动,所以比较各帧下的旋转角毫无意义。因此,本公开示例性实施例仅使用倾侧角的比较结果来验证本公开示例性实施例提出的扭转社会力模型的有效性。

[0095] (1) 倾侧角

首先,本公开示例性实施例比较了实际实验和仿真的最大倾侧角,所有实际实验的最大倾侧角都大于仿真的最大倾侧角,且很多数值误差较大。但是,仿真结果是在所有条件下的理想状态下得到的,因此仿真值与真实值之间的误差不能作为仿真结果的评价标准。因此,本公开示例性实施例给出了一个可接受的范围,即上限为90度(可接受的最大倾侧角),下限为仿真得到的最大倾侧角。如果实际实验的最大倾侧角在此可接受范围内,则表明仿真结果是合理的,可以满足侧向行为的仿真要求。

[0096] 具体来说,由于实际实验中的行人受到个体异质性的影响,他们的选择和行为不仅有规律可循,而且不可预测。本公开示例性实施例提出的扭转社会力模型并没有包含行人的所有异质性,也就是说,该模型只是为了模拟行人的侧向行为,并不能准确预测行人的倾侧角、侧身距离和侧身时间。因此,该模型得到的倾侧角可视为行人侧身完成穿越行为的最小旋转角度。也就是说,本公开示例性实施例认为在实际实验中,如果倾侧角小于本公开示例性实施例的模拟值,则无法完成横穿行为。换句话说,只要真实实验中行人完成侧身穿越行为的角度大于本公开示例性实施例模拟得到的角度,本公开示例性实施例就认为模拟模型是有效的。

[0097] 本公开示例性实施例注意到,真实值与模拟值之间的差距越小,说明扭转社会力模型的精度越高,但根据行人异质性的影响,本公开示例性实施例认为模型的首要任务是满足所有情况,即所有情况的真实值都在模拟值与90°之间。在满足模型普遍性的基础上,精度将进一步提高。

[0098] (2) 侧身距离和侧身时间

本公开示例性实施例对侧身距离 D_T 的误差进行了定量分析,排除扭转社会力模型判断不需要侧移而实际实验出现侧移的情况, D_T 的平均误差为11.51cm, D_T 的误差小于10cm的比例为75%,其中小于5cm的比例为66.7%。误差是由于个体差异造成的,在可接受的范围内,可以近似认为不会影响仿真结果,这可以证明本公开示例性实施例提出的扭转社会力模型是可靠的。

[0099] 此外,本公开示例性实施例还对 T_b 的误差进行了定量分析,发现 T_b 的误差仅为25帧(1秒),平均误差为9帧(0.36秒)。这个误差在可接受范围内,本公开示例性实施例相信模拟结果是真实可靠的。而 T_b 的增长趋势也进一步证明了模型的可靠性。

[0100] 二、仿真实验:验证普遍性

本公开示例性实施例通过实际实验和仿真结果的对比,证明了本公开示例性实施例提出的模型的可靠性和有效性,但目前所有的对比都是特例(所有参数都是根据17名志愿者的数据输入的)。为了进一步证明本公开示例性实施例所提模型的普适性,本公开示例性实施例将模型参数改为一般输入参数,并运行扭转社会力模型。结果用于验证扭转社会力模型能否真实有效地模拟行人的侧向行为。

[0101] 1、参数校准

根据上述实际实验的结果,本公开示例性实施例可以分别得到表2中的参数设置并进行校准。表2示出了本公开示例性实施例提供的扭转社会力模型的参数设置。

[0102] 表2 扭转社会力模型的参数设置

	参数	符号	取值范围	单位
身体参数	男性质量	m_m	[80,1]	kg
	男性肩宽	a_m	[0.5,1]	m
	男性胸厚	b_m	[0.26,1]	m
	男性期望速度	v_m	[1.25,1]	m/s
	女性质量	m_f	[55,1]	kg
	女性质量	a_f	[0.38,1]	m
	女性胸厚	v_f	[0.20,1]	m
	女性期望速度	v_f	[1.15,1]	m/s
	角速度	w	[140,1]	rad/s
仿真参数	社会作用力的强度	A_i	2000	N
	社会作用力的范围	B_i	0.08	m
	碰撞力的强度	A_C	2500	N
	碰撞力的范围	B_C	0.5	m
	身体压缩系数	k_n	1.2×10^5	kg/s ²
	身体压缩系数	k_t	2.4×10^5	kg/m/s
	特征时间	τ	0.5	s
	重置时间	T_p	0.5	s
	男性在行人和障碍物之间可接受的 心理距离	ζ_{vm}	Uniform[1.9,2.1]	cm
	女性在行人和障碍物之间可接受的 心理距离	ζ_{vf}	Uniform[3.0,3.2]	cm
	行人旋转面对他人时可接受的 心理距离	ζ_f	Uniform[18,20]	cm
	行人旋转到背对他人时可接受的 心理距离	ζ_b	Uniform[9,11]	cm

[0103] 2、设置和模拟

为了验证扭转社会力模型的有效性,本公开示例性实施例在建立仿真环境时特意将三种情况的通道宽度分别选为 $L=0.3m$ 、 $0.8m$ 、 $1.4m$ 和 $1.0m$ 。

[0104] 同时,本公开示例性实施例构建了相同的四个仿真环境,原始模型没有改变身体模型的底层属性,只是将身体模型改成了椭圆形,即身体参数按照表2设置,而原始模型中的所有行人都没有旋转行为。

[0105] 原始模型和扭转社会力模型的具体设置如下:随机生成5男5女进行模拟,消除了参数随机性带来的误差。

[0106] 因此,本公开示例性实施例选择了典型快照进行比较分析。

[0107] 3、验证

根据扭转社会力模型的独立模拟结果,本公开示例性实施例可以看到,在将参数改为分布形式后,所有情况下的侧向行为都能得到有效模拟,并且没有出现死锁和不规则碰撞等异常情况。因此,本公开示例性实施例可以认为扭转社会力模型可以有效地模拟不同情况下的侧向行为。

[0108] 在原始模型中,行人追上前方行人后,会出现跟随、反复碰撞和挤压的情况,最后陷入僵局。在扭转社会力模型中,当行人到达超越位置时,通过旋转行为合理实现超越行为。

[0109] 另一方面,对比两个模型的仿真结果可以发现,原始模型的仿真结果存在很多问

题,如不合理碰撞、重叠和死锁等,而本公开示例性实施例提出的扭转社会力模型都避免了这些问题。同时,两种模型的计算时间差异出现在模型构建过程中。具体来说,扭转社会力模型需要更长的时间来完成模型构建,但当仿真开始时,两种模型的计算时间基本相同。

[0110] 总之,对比结果表明,本公开示例性实施例提出的扭转社会力模型具有通用性,可以有效模拟各种条件下的侧向行为。此外,结果还证明,在扭转社会力模型中加入侧向行为是必要且可行的。

[0111] 上述主要对本公开实施例提供的方案进行了介绍。可以理解的是,为了实现上述功能,电子设备包含了执行各个功能相应的硬件结构和/或软件模块。本领域技术人员应该很容易意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,本公开能够以硬件或硬件和计算机软件的结合形式来实现。某个功能究竟以硬件还是计算机软件驱动硬件的方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本公开的范围。

[0112] 本公开实施例可以根据上述方法示例对电子设备进行功能单元的划分,例如,可以对应各个功能划分各个功能模块,也可以将两个或两个以上的功能集成在一个处理模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能模块的形式实现。需要说明的是,本公开实施例中模块的划分是示意性的,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式。

[0113] 在采用对应各个功能划分各个功能模块的情况下,本公开示例性实施例提供一种狭窄区域的穿越行为的仿真装置,该狭窄区域的穿越行为的仿真装置可以为电子设备或应用于电子设备的芯片。图6示出了本公开示例性实施例提供的狭窄区域的穿越行为的仿真装置的结构示意图。如图6所示,该装置600包括:

构建模块601,用于构建狭窄区域内目标行人的目标模型,并确定所述目标行人的运动相关信息;其中,所述狭窄区域的宽度小于所述目标行人的肩宽且大于所述目标行人的胸厚;

处理模块602,用于基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述运动相关信息,确定所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为的侧身约束条件;

所述构建模块601还用于构建基于侧身行为的扭转社会力模型;

仿真模块603,用于在所述侧身约束条件的约束下,利用所述扭转社会力模型对所述目标行人在所述狭窄区域的穿越行为进行仿真,得到所述目标行人的目标行为轨迹。

[0114] 在一些实施例中,所述运动相关信息包括身体旋转宽度,所述身体旋转宽度小于或等于所述狭窄区域的宽度,所述侧身约束条件包括侧倾角约束;

处理模块602还用于基于所述目标模型、所述狭窄区域的宽度和所述身体旋转宽度,计算所述侧倾角约束。

[0115] 在一些实施例中,所述侧倾角约束的计算公式为:

$$\theta = \begin{cases} \arccos\left(\sqrt{\frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right), & d \leq L \text{ 且 } 2b < L < 2a, \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中, θ 表示目标行人的旋转角度, 也即侧倾角, a 表示目标行人的椭圆模型的长半轴, b 表示目标行人的椭圆模型的短半轴, $2a$ 表示目标行人的肩宽, $2b$ 表示目标行人的胸厚, a 和 b 均为常数, 且 $a > b$, L 表示狭窄区域的宽度, d 表示目标行人侧身后的身体旋转宽度;

假设 $d = L - 2\zeta_w$, 则:

$$\theta_{\min} = \arccos\left(\sqrt{\frac{(\frac{L-2\zeta_w}{2})^2 - b^2}{a^2 - b^2}}\right),$$

其中, θ_{\min} 表示目标行人的最小旋转角度, ζ_w 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离, 为通过实际实验得到的一个常数。

[0116] 在一些实施例中, 所述运动相关信息还包括初始位置、期望速度和旋转角速度, 所述侧身约束条件还包括侧身时间约束;

处理模块602还用于基于所述旋转角速度和所述侧倾角约束, 计算所述目标行人的旋转时间; 基于所述目标模型、所述初始位置、所述期望速度和所述旋转时间, 计算所述侧身时间约束;

其中, 所述侧身时间约束的计算公式为:

$$T_b \leq \frac{x_a - x_0 - \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (\frac{L}{2})^2}}{v(t)} - t_r,$$

其中, T_b 表示目标行人的旋转开始时刻, 也即侧身时间, (x_0, y_0) 表示目标行人的初始位置, (x_a, y_a) 表示狭窄区域的墙壁的边缘位置, (x_a, y_0) 表示目标行人的初始位置所在水平线的X轴与狭窄区域的墙壁的边缘位置在X轴方向上投影的交点, (x, y_0) 表示目标行人的旋转开始位置, (x', y_0) 表示目标行人旋转到狭窄区域的墙壁的位置, $x = x_0 + v(t) \cdot T_b$, $x' = x + v(t) \cdot t_r$, $v(t)$ 表示目标行人在第 t 时刻的期望速度, ζ_w 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的心理距离, 为通过实际实验得到的一个常数, L 表示狭窄区域的宽度, t_r 表示目标行人的旋转时间, $t_r = \frac{\theta}{\omega}$, ω 表示实验测得的常数, 用于表示目标行人的旋转角速度。

[0117] 在一些实施例中, 所述侧身约束条件还包括侧身距离约束; 处理模块602还用于基于所述目标模型、所述初始位置、所述期望速度、所述旋转时间、所述心理距离和所述侧身时间约束, 计算所述侧身距离约束;

其中, 所述侧身距离约束的计算公式为:

$$D_T = x_a - x \geq \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - (y_a - y_0)^2} + v(t) \cdot t_r,$$

其中, D_T 表示目标行人在旋转开始时刻与狭窄区域的墙壁之间的距离;

假设 $y_a - y_0 = \frac{L}{2}$, 则:

$$D_T = \sqrt{(a + \zeta_w)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} + v(t) \cdot t_r。$$

[0118] 在一些实施例中,构建模块601还用于获取与所述目标行人的侧向行为有关的侧向行为作用力,所述侧向行为作用力包括所述目标行人的驱动力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和所述目标行人的侧身意愿;基于所述目标行人的驱动力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的相互作用力、所述目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力和所述目标行人的侧身意愿,构建基于侧身行为的扭转社会力模型。

[0119] 在一些实施例中,所述扭转社会力模型通过下述公式进行表示:

$$m \frac{dv}{dt} = F + \sum_{w=1}^W (F_w + F_w^C) \cdot \xi(F_T),$$

$$F = m \frac{v^0(t)e^0(t) - v(t)}{\tau},$$

$$F_w = A\bar{\omega} \exp\left(\frac{r - d_w}{B\bar{\omega}}\right) n_w + k_n g(r - d_w) n_w + k_t g(r - d_w) [v^T t_w] \cdot t_w,$$

$$F_w^C = A_c \bar{\omega} \exp\left(\frac{r_w - d_w}{B_c \bar{\omega}}\right) n_w,$$

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{F + \sum_{w=1}^W (F_w + F_w^C) \cdot \xi(F_T)}{m},$$

$$\xi(F_T) = \exp(-F_T),$$

$$F_T = m \frac{a^2 + b^2}{4a} \frac{d^2 \theta}{d^2 t_r},$$

$$v(t) = v^0(t)e^0(t) + \bar{a}t,$$

$$s(t) = s(0) + \int_0^t v(t) dt,$$

其中, m 表示目标行人的质量, v 表示目标行人的实际速度, F 表示目标行人的驱动力, F_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁之间的相互作用力, F_w^C 表示目标行人与狭窄区域的墙壁之间的碰撞力, W 表示狭窄区域的墙壁的总数量, $\xi(F_T)$ 表示目标行人的侧身意愿, F_T 表示目标行人的扭力, $v^0(t)$ 表示目标行人的初始速度, $e^0(t)$ 表示目标行人在 t 时刻指向期望目标的单位矢量, $v(t)$ 表示目标行人在 t 时刻的期望速度, τ 表示一定的特征时间, A 表示社会作用力的强度, B 表示社会作用力的范围, A 和 B 均为常数, $\bar{\omega}$ 表示调整系数, r 表示目标行人的半径, d_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁的质心间距, n_w 表示目标行人指向狭窄区域的墙壁的归一化矢量, k_n 表示身体压缩系数, k_t 表示滑动摩擦系数, t_w 表示目标行人和狭窄区域的墙壁的切线方向, $g(x) = \max(x, 0)$ 表示目标行人和狭窄区域的墙壁互不接触, A_c 表示

碰撞力的强度, B_c 表示碰撞力的范围, A_c 和 B_c 均为常数, \bar{a} 表示目标行人在 t 时刻的加速度, a 表示目标行人的椭圆模型的长半轴, t_r 表示目标行人的旋转时间, b 表示目标行人的椭圆模型的短半轴, $s(t)$ 表示目标行人在 t 时刻的位置, $s(0)$ 表示目标行人在初始时刻的初始位置。

[0120] 本公开实施例还提供一种电子设备, 包括: 至少一个处理器; 用于存储至少一个处理器可执行指令的存储器; 其中, 至少一个处理器用于执行指令, 以实现本公开实施例公开的上述方法的步骤。

[0121] 图7示出了本公开示例性实施例提供的电子设备的结构示意图。如图7所示, 该电子设备700包括至少一个处理器701以及耦接至处理器701的存储器702, 该处理器701可以执行本公开实施例公开的上述方法中的相应步骤。

[0122] 上述处理器701还可以称为中央处理单元 (Central Processing Unit, CPU), 其可以是一种集成电路芯片, 具有信号的处理能力。本公开实施例公开的上述方法中的各步骤可以通过处理器701中的硬件的集成逻辑电路或者软件形式的指令完成。上述的处理器701可以是通用处理器、数字信号处理器 (Digital Signal Processing, DSP)、ASIC、现成可编程门阵列 (Field-programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。结合本公开实施例所公开的方法的步骤可以直接体现为硬件译码处理器执行完成, 或者用译码处理器中的硬件及软件模块组合执行完成。软件模块可以位于存储器702中, 例如随机存储器, 闪存、只读存储器, 可编程只读存储器或者电可擦写可编程存储器、寄存器等本领域成熟的存储介质。处理器701读取存储器702中的信息, 结合其硬件完成上述方法的步骤。

[0123] 另外, 根据本公开的各种操作/处理在通过软件和/或固件实现的情况下, 可从存储介质或网络向具有专用硬件结构的计算机系统, 例如, 图8所示的计算机系统800安装构成该软件的程序, 该计算机系统在安装各种程序时, 能够执行各种功能, 包括诸如前文所述的功能等等。图8示出了本公开示例性实施例提供的计算机系统的结构示意图。

[0124] 计算机系统800旨在表示各种形式的数字电子的计算机设备, 诸如, 膝上型计算机、台式计算机、工作台、个人数字助理、服务器、刀片式服务器、大型计算机、和其它适合的计算机。电子设备还可以表示各种形式的移动装置, 诸如, 个人数字处理、蜂窝电话、智能电话、可穿戴设备和其它类似的计算装置。本文所示的部件、它们的连接和关系、以及它们的功能仅仅作为示例, 并且不意在限制本文中描述的和/或者要求的本公开的实现。

[0125] 如图8所示, 计算机系统800包括计算单元801, 该计算单元801可以根据存储在只读存储器 (ROM) 802中的计算机程序或者从存储单元808加载到随机存取存储器 (RAM) 803中的计算机程序, 来执行各种适当的动作和处理。在RAM 803中, 还可存储计算机系统800操作所需的各种程序和数据。计算单元801、ROM 802以及RAM 803通过总线804彼此相连。输入/输出 (I/O) 接口805也连接至总线804。

[0126] 计算机系统800中的多个部件连接至I/O接口805, 包括: 输入单元806、输出单元807、存储单元808以及通信单元809。输入单元806可以是能向计算机系统800输入信息的任何类型的设备, 输入单元806可以接收输入的数字或字符信息, 以及产生与电子设备的用户

设置和/或功能控制有关的键信号输入。输出单元807可以是能呈现信息的任何类型的设备,并且可以包括但不限于显示器、扬声器、视频/音频输出终端、振动器和/或打印机。存储单元808可以包括但不限于磁盘、光盘。通信单元809允许计算机系统800通过网络诸如因特网的与其他设备交换信息/数据,并且可以包括但不限于调制解调器、网卡、红外通信设备、无线通信收发机和/或芯片组,例如,蓝牙™设备、WiFi设备、WiMax设备、蜂窝通信设备和/或类似物。

[0127] 计算单元801可以是各种具有处理和计算能力的通用和/或专用处理组件。计算单元801的一些示例包括但不限于中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、各种专用的人工智能(AI)计算芯片、各种运行机器学习模型算法的计算单元、数字信号处理器(DSP)、以及任何适当的处理器、控制器、微控制器等。计算单元801执行上文所描述的各个方法和处理。例如,在一些实施例中,本公开实施例公开的上述方法可被实现为计算机软件程序,其被有形地包含于机器可读介质,例如,存储单元808。在一些实施例中,计算机程序的部分或者全部可以经由ROM 802和/或通信单元809而被载入和/或安装到电子设备上。在一些实施例中,计算单元801可以通过其他任何适当的方式(例如,借助于固件)而被配置为执行本公开实施例公开的上述方法。

[0128] 本公开实施例还提供一种计算机可读存储介质,其中,当计算机可读存储介质中的指令由电子设备的处理器执行时,使得该电子设备能够执行本公开实施例公开的上述方法。

[0129] 本公开实施例中的计算机可读存储介质可以是有形的介质,其可以包含或存储以供指令执行系统、装置或设备使用或与指令执行系统、装置或设备结合地使用的程序。上述计算机可读存储介质可以包括但不限于电子的、磁性的、光学的、电磁的、红外的、或半导体系统、装置或设备,或者上述内容的任何合适组合。更具体的,上述计算机可读存储介质可以包括基于一个或多个线的电气连接、便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦除可编程只读存储器(EPROM或快闪存储器)、光纤、便捷式紧凑盘只读存储器(CD-ROM)、光学储存设备、磁储存设备、或上述内容的任何合适组合。

[0130] 上述计算机可读介质可以是上述电子设备中所包含的;也可以是单独存在,而未装配入该电子设备中。

[0131] 本公开实施例还提供一种计算机程序产品,包括计算机程序,其中,该计算机程序被处理器执行时实现本公开实施例公开的上述方法。

[0132] 在本公开的实施例中,可以以一种或多种程序设计语言或其组合来编写用于执行本公开的操作的计算机程序代码,上述程序设计语言包括但不限于面向对象的程序设计语言,诸如Java、Smalltalk、C++,还包括常规的过程式程序设计语言,诸如“C”语言或类似的设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络(包括局域网(LAN)或广域网(WAN))连接到用户计算机,或者,可以连接到外部计算机。

[0133] 附图中的流程图和框图,图示了按照本公开各种实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段、或代码的一部分,该模块、程序段、或代码的一部分包含一个或多个用

于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个接连地表示的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意的,框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0134] 描述于本公开实施例中所涉及到的模块、部件或单元可以通过软件的方式实现,也可以通过硬件的方式来实现。其中,模块、部件或单元的名称在某种情况下并不构成对该模块、部件或单元本身的限定。

[0135] 本文中以上描述的功能可以至少部分地由一个或多个硬件逻辑部件来执行。例如,非限制性地,可以使用的示例性的硬件逻辑部件包括:现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)、专用标准产品(ASSP)、片上系统(SOC)、复杂可编程逻辑设备(CPLD)等等。

[0136] 以上描述仅为本公开的一些实施例以及对所运用技术原理的说明。本领域技术人员应当理解,本公开中所涉及的公开范围,并不限于上述技术特征的特定组合而成的技术方案,同时也应涵盖在不脱离上述公开构思的情况下,由上述技术特征或其等同特征进行任意组合而形成的其它技术方案。例如上述特征与本公开中公开的(但不限于)具有类似功能的技术特征进行互相替换而形成的技术方案。

[0137] 虽然已经通过示例对本公开的一些特定实施例进行了详细说明,但是本领域的技术人员应该理解,以上示例仅是为了进行说明,而不是为了限制本公开的范围。本领域的技术人员应该理解,可在不脱离本公开的范围和精神的情况下,对以上实施例进行修改。本公开的范围由所附权利要求来限定。

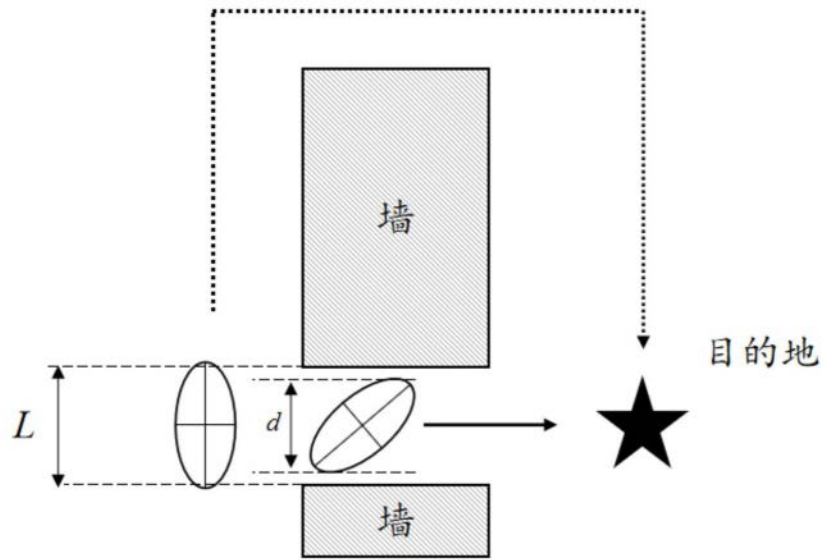


图1

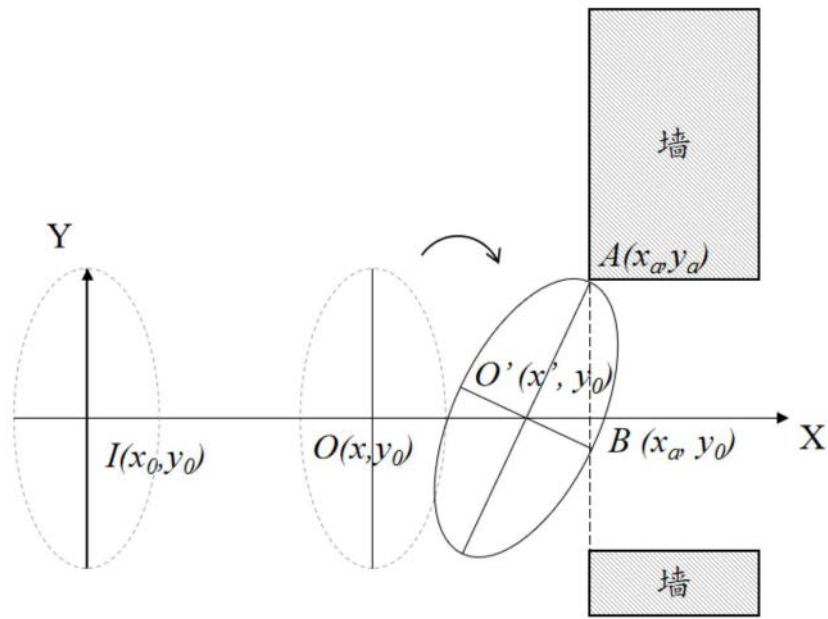


图2

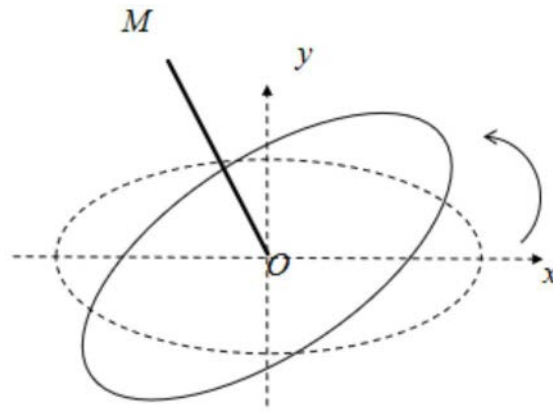


图3

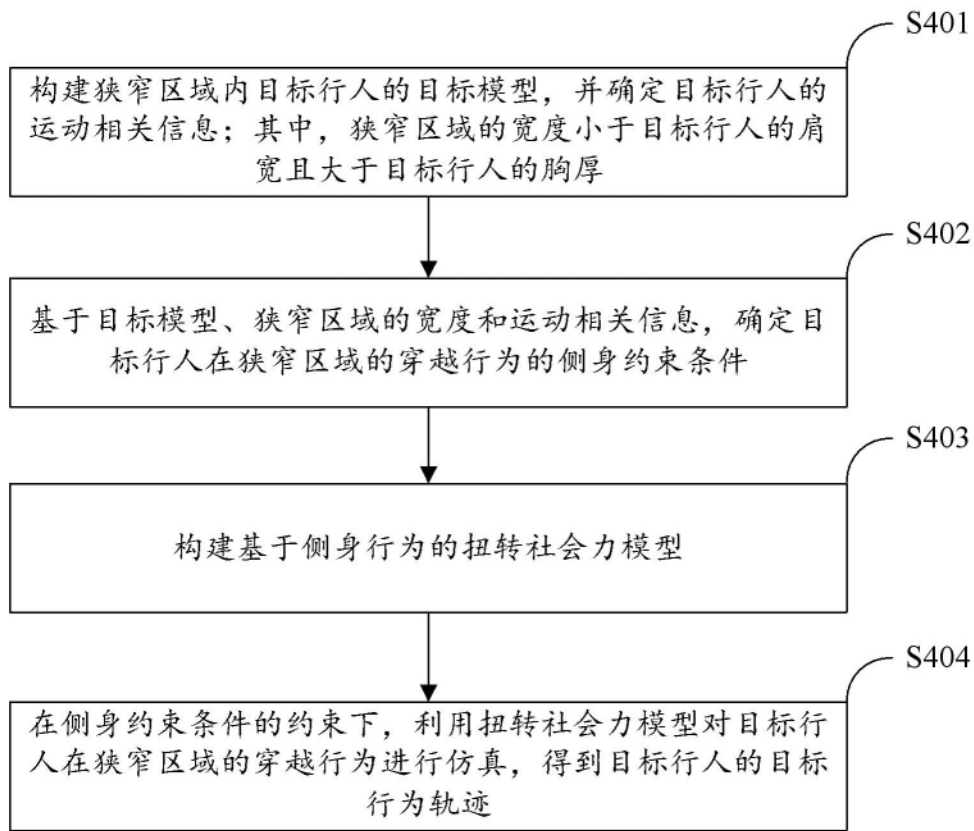


图4

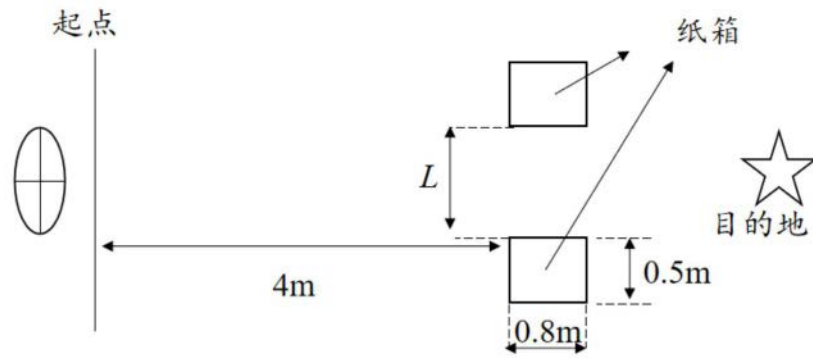


图5

600



图6

700



图7

800

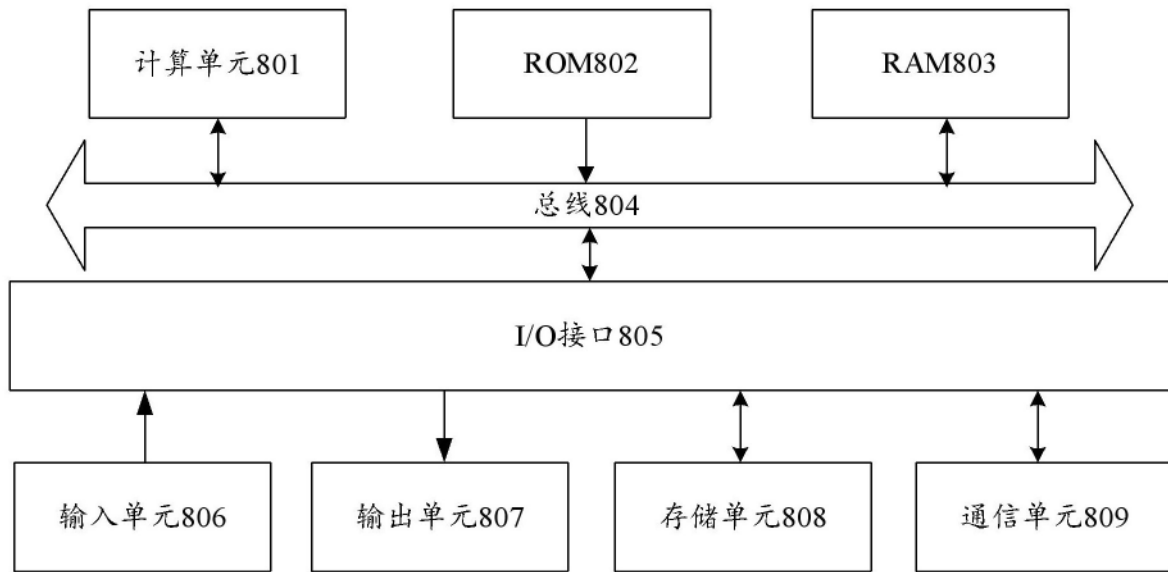


图8