

Simulation-Based Behavior Planning to Prevent Congestion of Pedestrians Around a Robot 用于避免机器人周围行人拥挤的仿真 行为规划

**Hiroyuki Kidokoro, Takayuki Kanda, Drazen Brscic
and Masahiro Shiomi**

◆ 目录

- 1 课题背景
- 2 本文提出的方法
- 3 实验
- 4 结论

课题背景

◆ 在人群中工作的社交机器人



图1 空间狭窄、机器人吸引人群导致的拥挤

- ◆ 在人群中工作的 { 导购机器人
巡逻机器人
扫地机器人
- ◆ { 空间狭窄
机器人吸引人群 → 拥挤
- ◆ 解决？ 机器人行为规划！

本文提出的方法

◆ 本文提出的方法

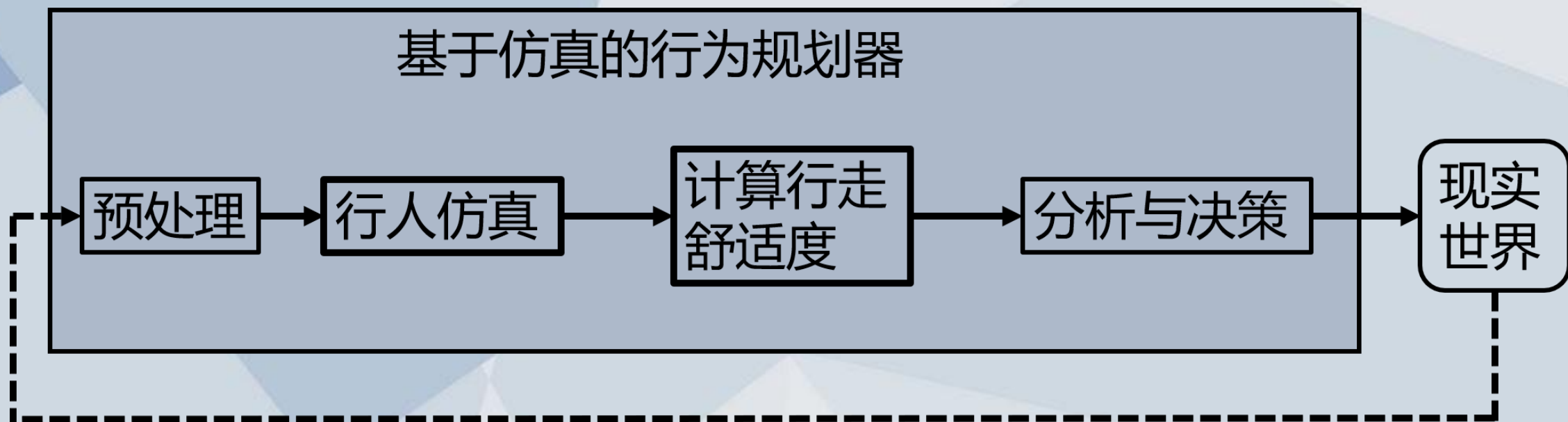


图2 本文提出的行为规划方法

◆ 行人仿真：人类行为的统计学模型 → 行人未来的行为

行人仿真

◆ 实验环境



图3 实验环境：购物中心

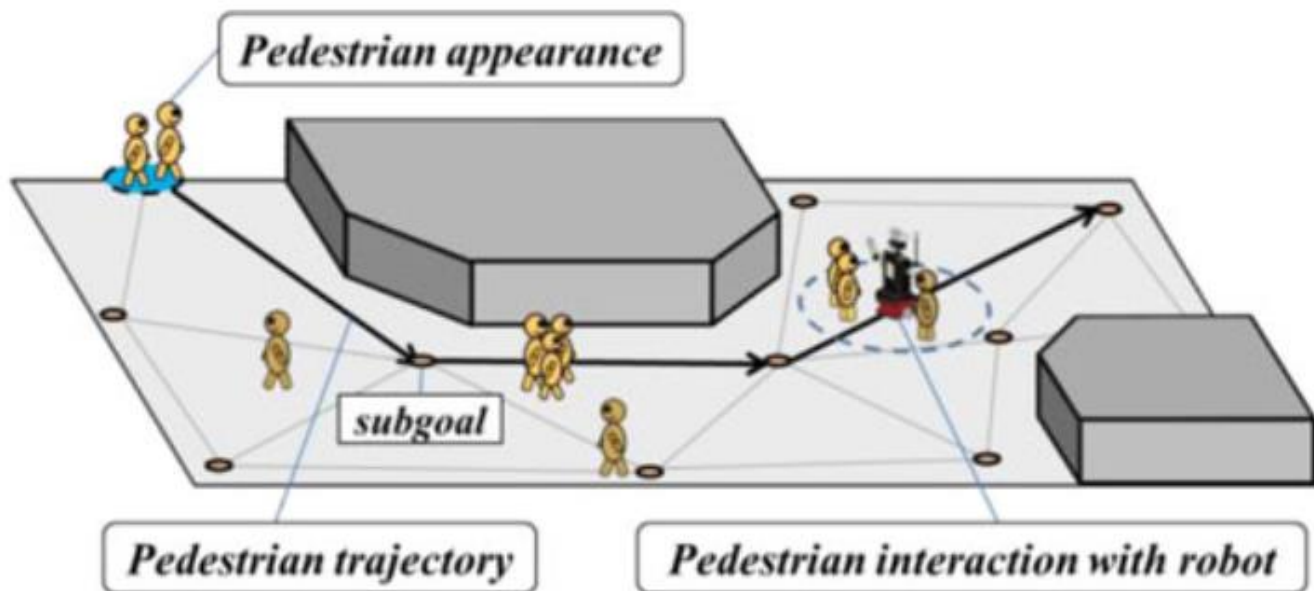
◆ 实验区域

- { 大厅 : 300 m^2
走廊 : 长 70 m , 宽 $3 - 6\text{ m}$

◆ 传感器 : 49个 , 30 Hz

- ◆ 机器人 { 型号 : Robovie-II
尺寸 : 高 120 cm ,
直径 40 cm

◆ 行人仿真

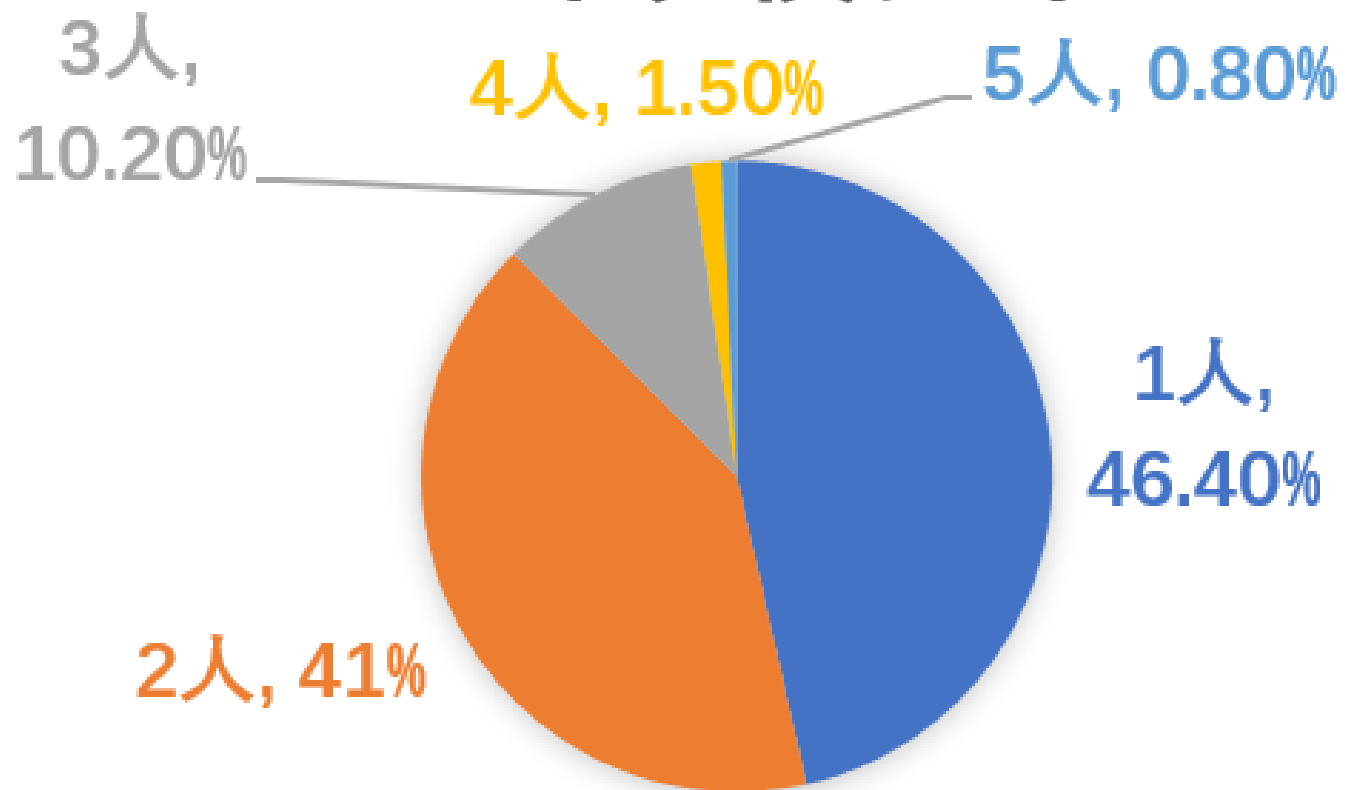


- ◆ { 生成新的行人
生成行人轨迹
生成人与机器人的交互

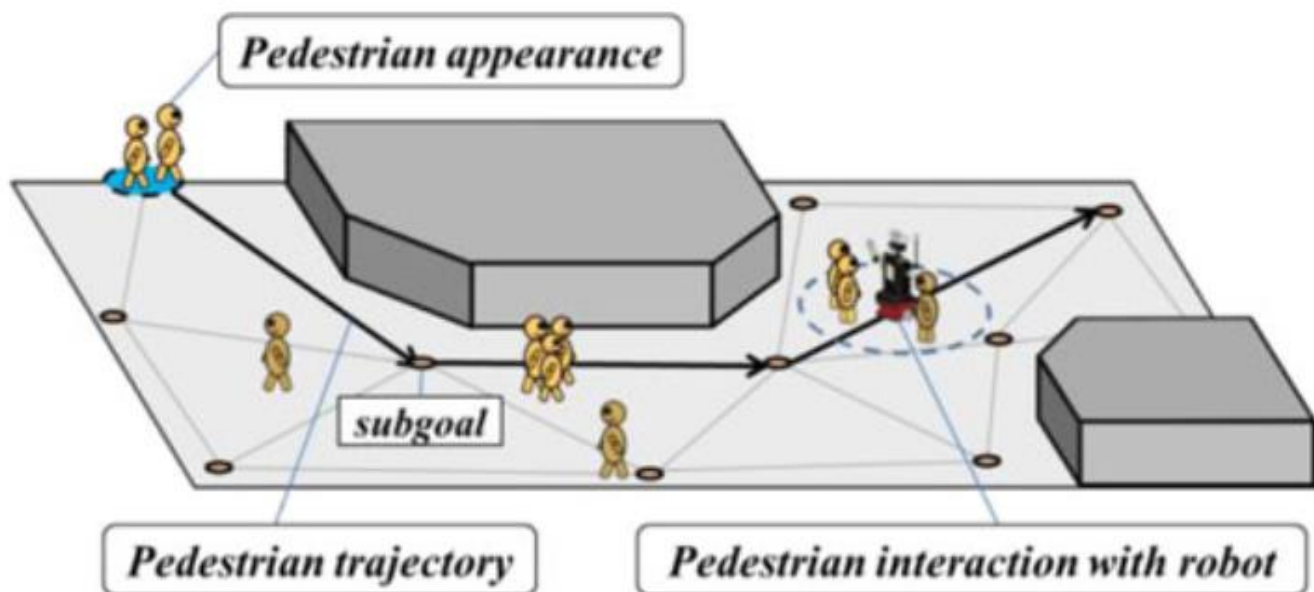
图4 行人仿真的基本组成部分

◆ 生成新的行人

人群规模分布



◆ 行人仿真



- ◆ { 生成新的行人
生成行人轨迹
生成人与机器人的交互

图4 行人仿真的基本组成部分

◆ 生成行人轨迹

- ◆ 行人数据采集：真实场景下、66035条行人轨迹

- ◆ 统计学建模

 - 偏好速度 v_p ：平均值 1.12 m/s，标准差 0.16

 - 子目标转移：确定子目标点、概率转移模型。

- ◆ 生成轨迹

 - 当前观测到的行人轨迹+子目标转移模型+社会力模型（HHI）

◆ 社会力模型

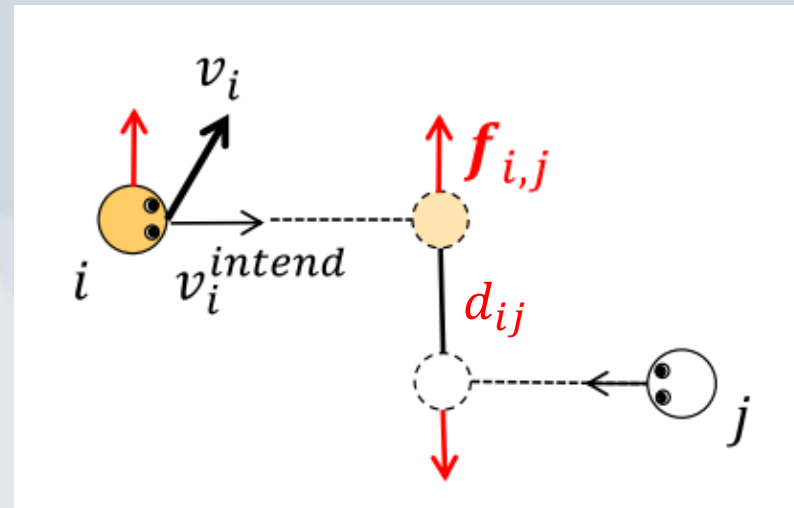
◆ 模拟行人避免碰撞的行为

◆ 加速度：

$$\mathbf{f}_i^s(t) = k(\mathbf{v}_i^{\text{intend}}(t) - \mathbf{v}_i(t)) + \sum_{j \neq i} \mathbf{f}_{i,j}(t)$$

◆ 社会力：

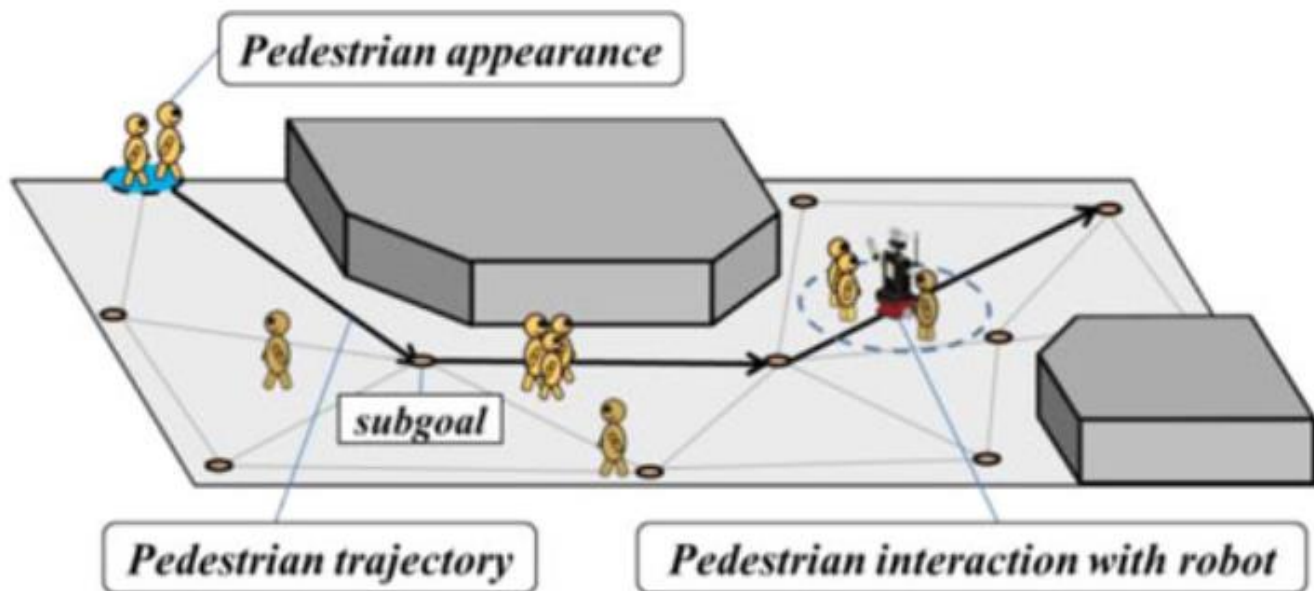
$$\mathbf{f}_{i,j} = A \frac{\mathbf{v}_i}{t_i} e^{-d_{ij}/B} \frac{\mathbf{d}_{ij}(t_i)}{d_{ij}(t_i)}$$



◆ 下一时刻速度：

$$\mathbf{v}_i(t + \Delta t) = \mathbf{v}_i(t) + \mathbf{f}_i^s(t) \Delta t.$$

◆ 行人仿真



- ◆ { 生成新的行人
生成行人轨迹
生成人与机器人的交互

图4 行人仿真的基本组成部分

◆ 生成人与机器人的交互 (HRI)

◆ 交互行为的数据采集：真实环境中置入机器人、收集行人
轨迹+视频

	$v_i^{\text{intend}} =$	
Robot Behavior	$\begin{cases} 0, & (\mathbf{x}_r - \mathbf{x}_i \leq D_{\text{interact}} \text{ and } t_{\text{in}} \leq T_{\text{stop}}) \\ v_p \cdot (\mathbf{x}_r - \mathbf{x}_i) / \mathbf{x}_r - \mathbf{x}_i , & \left(\begin{array}{l} D_{\text{interact}} \leq \mathbf{x}_r - \mathbf{x}_i \leq D_{\text{notice}} \\ \text{and } t_{\text{in}} \leq T_{\text{stop}} \end{array} \right) \\ v_p \cdot (\mathbf{x}_s - \mathbf{x}_i) / \mathbf{x}_s - \mathbf{x}_i , & \left(\begin{array}{l} \mathbf{x}_r - \mathbf{x}_i \geq D_{\text{notice}} \\ \text{or } t_{\text{in}} > T_{\text{stop}} \end{array} \right) \end{cases}$	Uninterested
Navigation		68.0% (223/328)
Conversation		58.8% (130/221)

◆ 仿真：根据概率模型，模拟上述交互行为

行走舒适度

◆ 行走舒适度

◆ 舒适度数据采集

- 室内场景，16名受试者
- 改变人数、起点和终点、环境、是否出现停止的人。
- 受试者打分

◆ 建模

- 对舒适度影响最大：距离

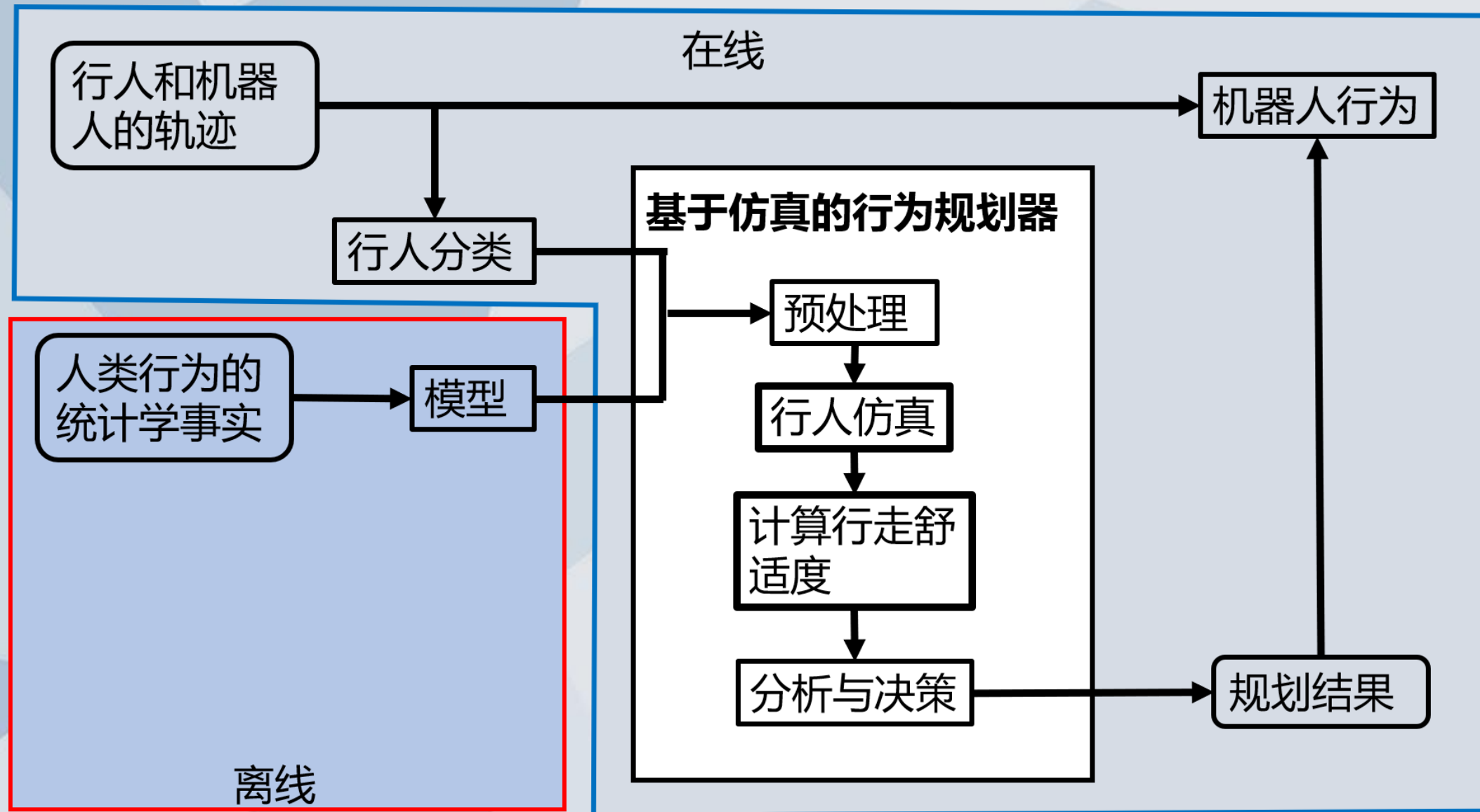
$$c_{\text{dist}}(i, S, t) = \min_{j \in S} (a/d(i, j, t) + b)$$

$$\text{comfort}(i, T) = \min_{t \in T} c_{\text{dist}}(i, S, t).$$

$$\text{comfort}(p, q) = \text{average}_{i \in S_{\text{uninterested}}} (\text{comfort}(i, T)).$$

行为规划的完整实现

◆ 行为规划的完整实现



◆ 一些技术细节

◆ 预处理

- 两种备选方案：接近、逃离

◆ 行人仿真

- 对每种备选方案，多次运行仿真，取平均

◆ 综合指标：

$$\text{efficiency}(p, q) = \text{advertisement}(p, q)$$

$$U_{\text{anticipation}}(p) = \text{average}_{q \in Q_p} (\text{efficiency}(p, q) + \alpha \cdot \text{comfort}(p, q))$$

实验

◆ 实验环境



图3 实验环境：购物中心

◆ 实验区域

- { 大厅 : 300 m^2
走廊 : 长 70 m , 宽 $3 - 6\text{ m}$

◆ 传感器 : 49个 , 30 Hz

◆ 机器人 { 型号 : Robovie-II 尺寸 : 高 120 cm , 直径 40 cm

◆ 实验结果

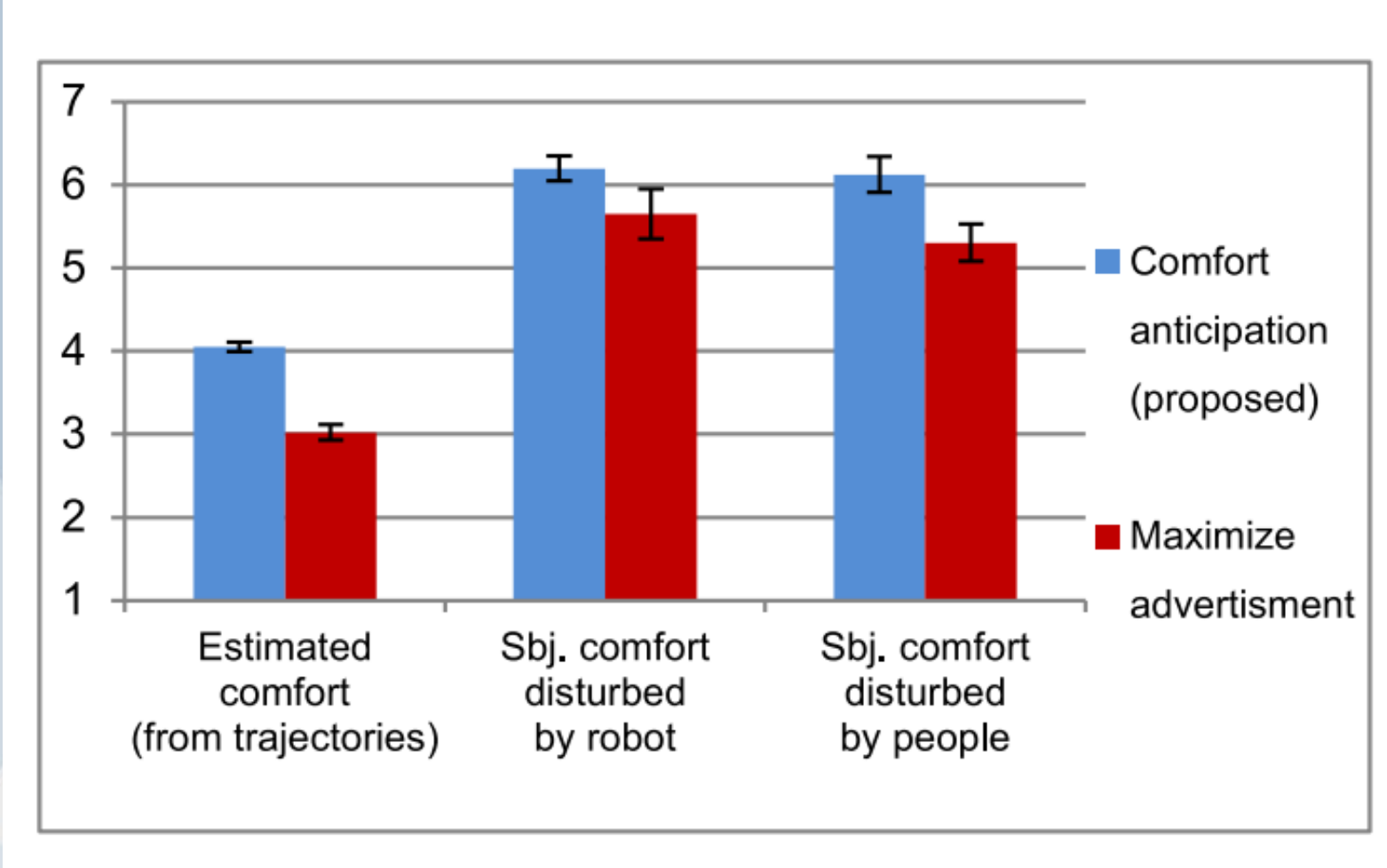


图5 实验中测量得到的舒适度

结论

◆ 结论

- ◆ 提出了一种基于仿真的行为规划方法，成功避免了拥挤。
- ◆ 使用了一系列仿真模型
 - 行人移动（基于子目标概念）
 - 行人与其他行人（HHI）、与机器人的交互（HRI）
 - 行走舒适度
- ◆ 同时考虑舒适度与机器人任务要求
- ◆ 体现以人为中心

谢谢大家！

相关的工作

◆ 集群机器人

◆ 集群机器人 $\begin{cases} \text{基于反应 (旧)} \\ \text{基于规划 (新)} \end{cases}$

◆ 举例：Knepper and Rus

- 预测其他主体的行为
- 规划自身行为

◆ 与本文的关联

- 重叠：都是多主体协作问题
- 不同：各主体**不必有**相同目的

◆ 人机交互中的导航

- ◆ 导航方法 { 无碰路径规划 (旧)
基于人类认知与行为模型 (新)

◆ 与本文的关联

- 机器人移动的局部安全（避碰）：“A framework with a pedestrian simulator for deploying robots into a real environment” in Proc. 3rd Int. Conf. Simul., Model., Program. Auton. Robots, 2012, pp. 185-196
- 避免碰撞 ✓ 避免拥挤 ✗

◆ 仿真、换位思考

- ◆ 仿真：利用模型复现实际系统中发生的事件。

- 现有的行人仿真：用于避免碰撞

- ◆ 与本文的关联

- 基于仿真的行为规划，用于避免拥挤。

- ◆ 换位思考：机器人在人的角度思考问题（满足人性化需求）

- ◆ 与本文的关联

- 考虑行人的行走舒适度。

◆ 实验结果



图6 执行“接近”方案的频率