



摘要

徘徊行为判定作为异常行为识别的热点难题，目前存在难以构建具有场景特定性的识别模型问题。特定场景下的行人轨迹数据，或是有标签，或是无标签。本文针对如何利用特定场景下有标签轨迹数据信息问题，结合行人多种轨迹特征，提出了基于分类函数的徘徊行为识别模型，该模型能够通过分类函数自动学习该场景下有标签轨迹数据中的徘徊行为模式。针对如何利用特定场景下无标签轨迹数据信息问题，提出了基于异常检测的徘徊行为识别模型，该模型能够在大量无标签轨迹数据中自动学习潜在的徘徊行为模式。基于两种徘徊行为识别模型，提出了徘徊行为识别框架，该框架能够利用目标跟踪算法获取特定场景视频中行人的轨迹数据，并根据数据是否带有标签合适地构建对应的具有场景特定的徘徊行为识别模型。

背景

异常行为是与生活常见行为或社会道德、法律法规相违背的行为。目前在异常行为分析、异常轨迹分析等方面的研究与应用越来越多。相对而言，徘徊行为识别作为异常行为分析的核心难点，在构建具有场景特定性的徘徊行为识别模型方面的研究成果较少。随着智慧安防、智慧城市等应用对该技术的需求日益递增，徘徊行为识别成为异常行为研究中的热点和难点，因此利用特定场景中的轨迹数据设计具有场景特定性的徘徊行为识别方法是本课题的核心。

实验方法

1.轨迹的局部拟合方法

本文假设行人的轨迹是关于时间的参数曲线。

$$\begin{cases} x = \varphi(t) \\ y = \omega(t) \end{cases}$$

对于轨迹点序列 $\{(x(t_i), y(t_i))\}, i = 0, 1, \dots, n$ ，利用三次样条插值方法分别对 x 、 y 方向分别进行插值。对新加入的轨迹点 $(x(t_{n+1}), y(t_{n+1}))$ ，只使用最新的四个轨迹点对新轨迹进行局部拟合，从而减少曲线拟合的计算量，且保证了每次拟合不受轨迹长度的影响。

2.轨迹特征提取

基于拟合后轨迹，本文提取了运动时长 T 、路程与位移比 R 、曲率均值 $E(\kappa)$ 、曲率标准差 $S(\kappa)$ 和曲率信息熵 $H(\kappa)$ 五个轨迹特征，并将向量

$$\mathbf{f} = (T, R, E(\kappa), S(\kappa), H(\kappa))$$

作为描述一条轨迹的特征向量。

3.徘徊行为识别模型

对于特定场景下的有标签轨迹数据，本文提出基于分类函数的徘徊行为识别模型，利用分类函数来学习该场景下特定的徘徊行为模式，并实现多种轨迹特的自动综合：

- 使用特定场景下已知的徘徊行为和非徘徊行为轨迹，结合机器学习中的分类函数，训练一个分类模型 $F(\mathbf{f})$ 。

对于特定场景下的无标签轨迹数据，本文提出基于异常检测的徘徊行为识别模型，通过将徘徊行为识别看作问题为异常值检测问题，利用异常值检测算法以学习该场景下潜在的徘徊行为模式：

- 使用目标跟踪算法获取特定场景下大量的无标签行人轨迹数据。
- 将无标签数据集作为孤立森林的训练集，训练一个异常值检测模型 $IF(\mathbf{f})$ 。

最后，本文将两个徘徊行为识别模型和目标跟踪算法相结合，提出了徘徊行为识别框架，如图(1)所示。该框架能够利用目标跟踪算法获取特定场景视频中行人的轨迹数据，并根据数据是否带有标签合适地构建对应的具有场景特定的徘徊行为识别模型。

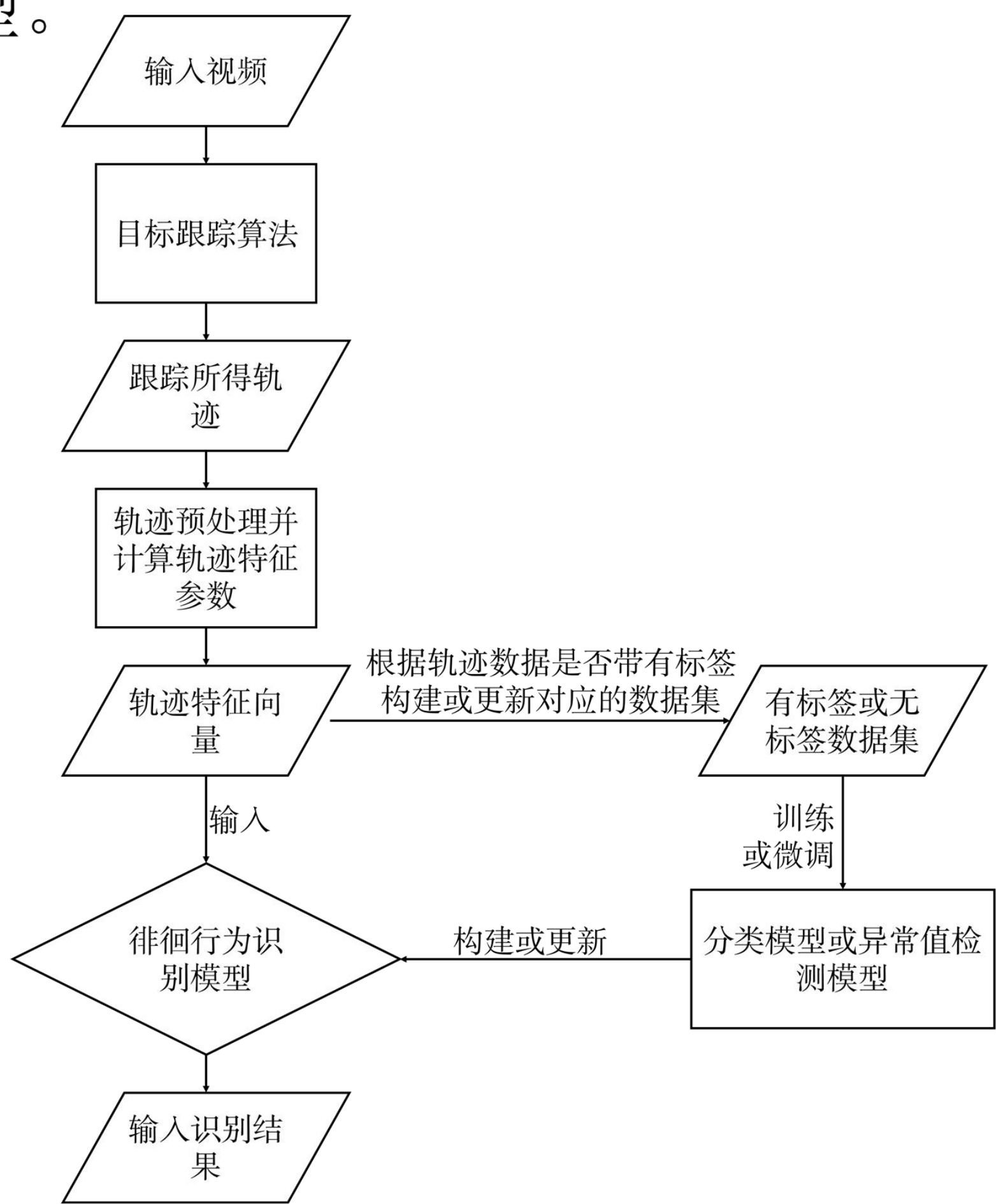


图 1 徘徊行为识别框架

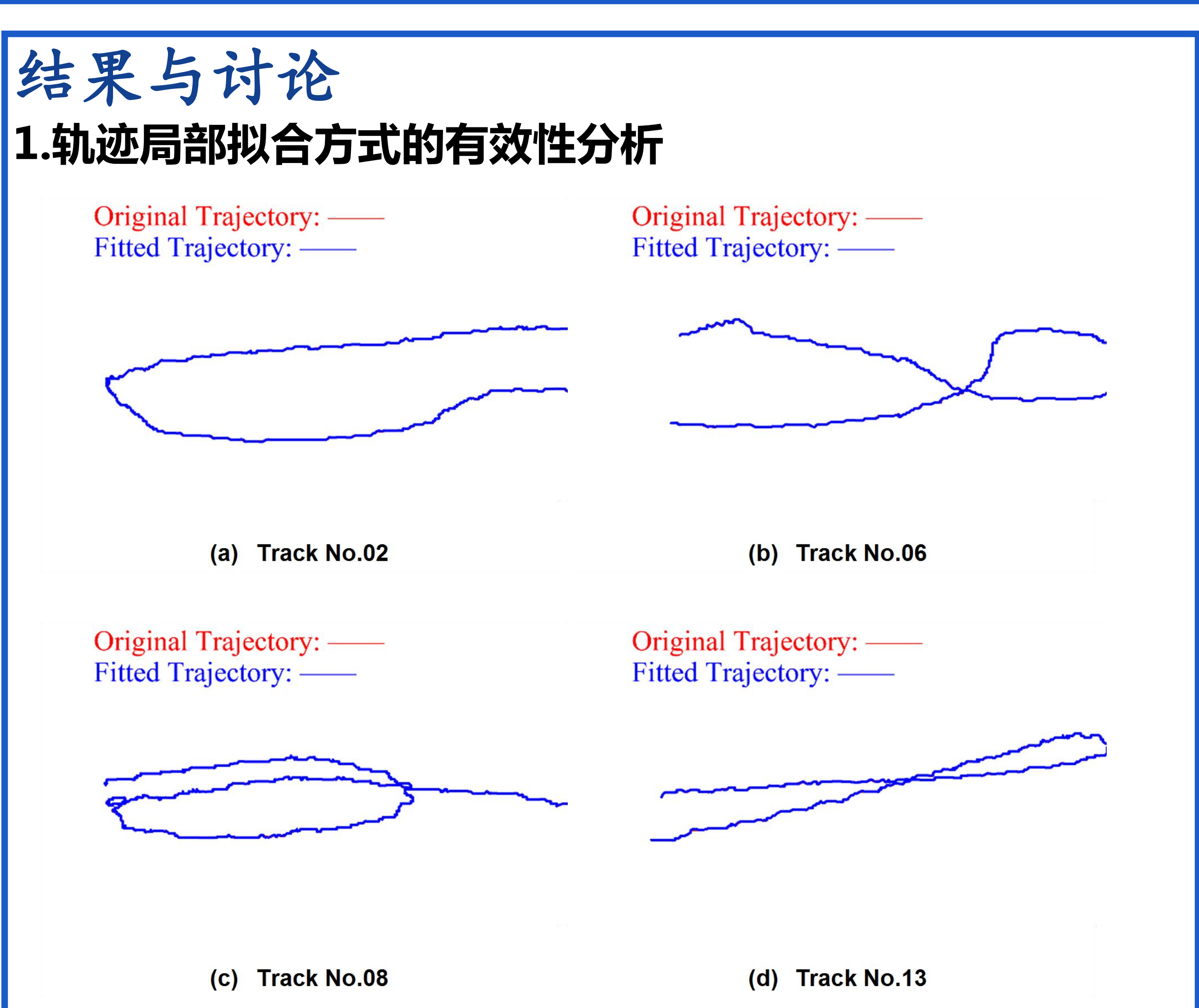


图 2 不同轨迹对应的原始轨迹曲线和拟合轨迹曲线

从图(2)中可知，四条轨迹的拟合轨迹曲线都几乎和原始轨迹曲线重合，因此可以认为使用三次样条插值对公式进行拟合是有效的，进而基于轨迹局部拟合方式来计算在轨迹点处的曲率是合理的。

2.徘徊行为识别模型的对比分析

表 1 5 种徘徊行为识别模型的识别结果

Model	Videos	Number of Videos	Number of Wander	FP	FN	Precision	Recall	F1 Score
Stay Time	run	16	0	0	0	87.50%	100%	0.933
	walk	16	0	2	0			
	wander	16	16	0	0			
Curvature Information Entropy	run	16	0	0	0	100%	87.50%	0.933
	walk	16	0	0	0			
	wander	16	16	0	2			
Differential Displacement Difference	run	16	0	0	0	100%	100%	1.000
	walk	16	0	0	0			
	wander	16	16	0	0			
Outlier Detection	run	16	0	0	0	100%	93.75%	0.968
	walk	16	0	0	0			
	wander	16	16	0	1			

从表(1)可知，相比于基于曲率信息熵和异向位移差的徘徊行为识别模型，基于分类函数的识别模型在召回率和F1值上分别提升了12.5%和0.067，基于异常检测的识别模型在召回率和F1值上分别提升了6.25%和0.035，因此可以认为本文提出的两种模型是有效的且优于其他2种模型。由于本文提出的两种模型从特定场景下有标签或无标签的轨迹数据中学习到了徘徊行为的行为模式，因此可以认为这两种模型是具有场景特定性的。

结论

徘徊行为判别作为异常行为识别的重要组成部分，本文针对构建具有场景特定性的徘徊行为识别模型问题，提出了基于分类函数和异常检测的识别模型，有效地通过联合多种轨迹特征识别特定场景下的徘徊行为，提高了徘徊行为的识别精确率和召回率，通过与三种基于不同轨迹特征的识别模型的对比分析验证了两种模型可以实现多种轨迹特征的自动综合，有效解决构建场景特定性识别模型问题。另外，针对轨迹的多项式拟合问题，本文提出了基于三次样条插值的局部拟合方式，降低了轨迹拟合的计算量，通过局部拟合方式的有效性分析验证了该方法可以在不对轨迹进行分段的情况下以三次多项式拟合轨迹。

投稿人 姓名：卢锦亮 吴广潮 冯夫健 王林
单位：华南理工大学