

重新审视WILLIAM H.Whyte的图表

一种交互式视频跟踪方法，用于在动态分区几何结构中建模时空人类行为

阎超^{1*}、李婷²、刘SIYAN³、何珊树⁴、张兰明⁵、舒雯⁶、余彤⁷、王WENJIE⁸、龙一妮⁹

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}同济大学建筑与城市规划学院。

llyanchao@tongji.edu.cn, 0000-0003-1446- 4861

22330265@tongji.edu.cn

3978939929@qq.com

42252279@tongji.edu.cn

52254149@tongji.edu.cn

63166653915@qq.com

7281582047@qq.com

82488265427@qq.com

92151226@qq.com

摘要。本文通过视频跟踪分析方法探讨了建筑与人类行为的交汇点。重点关注公共区域几何细分对社会行为的影响，指出了现有视频跟踪工具的局限性。通过引入定制的身体摄像头软件，建筑师可以互动地在视频片段中勾勒出区域边界，从而实现对时空模式的详细分析。该软件能够追踪行人，识别几何边界，并将行为模式与空间配置关联起来，为理解复杂建筑环境中的人类行为提供了一种新颖的方法。这一综合方法不仅提升了建筑设计的概念和操作层面，还强调了建筑与人体之间错综复杂的相互作用，特别是在环境行为方面。

关键词：行为研究、视频跟踪、公共空间、分区几何、时空图。

1. 导言

视频跟踪已经成为行为研究领域的一个关键工具，为人类居住者在其建筑环境中的动态行为提供了前所未有的见解。能够监测和分析个人在长时间内的动作和手势，为建筑师提供了丰富的信息

加速设计，第29届亚洲计算机辅助建筑设计研究协会（CAADRIA）国际会议论文集，2024年，第2卷，445-454页。©2024年，由香港亚洲计算机辅助建筑设计研究协会（CAADRIA）出版。

超越传统观察方法的局限性，不仅提高了精确度和效率，还为理解个体之间错综复杂的社会互动开辟了新的途径。

同时，视频追踪作为一种观察方法，在涉及佩戴追踪设备的实验方法中具有明显优势。主要优点在于视频追踪的不显眼性质，这使得行为研究更加客观和自然。与实验设置不同，受试者可能受到或意识到他们所佩戴的设备，而视频追踪则允许研究人员在不引入外部干扰的情况下观察个体，从而捕捉到更真实的行为模式。这种客观性在复杂环境中尤为突出，尤其是在研究社会互动时。参与者可以在复杂的社交行为和空间背景下自由自然地移动。

在公共空间的行为研究领域，各种动态和静态的区域划分轮廓塑造了环境，包括物理空间的分割、设施的分布、阴影区域的变化以及社会群体的形成。这些因素对社会行为有着显著的影响。然而，视频追踪的局限性在于它无法与这些区域配置复杂的几何结构建立直接联系。视频追踪在全球范围内揭示时空行为模式方面表现出色，但在连接区域几何细节方面却显得不足。

此外，一些区域是客观定义的，而另一些则是潜在的或受建筑师解释的影响。遗憾的是，当前的视频跟踪方法未能赋予建筑师互动机会来划定和分析这些区域。这种缺乏互动性限制了探索潜在的空间对社会行为的影响，导致对分区几何形状与人类活动之间复杂相互作用的理解存在空白。因此，需要创新的方法不仅捕捉全球行为模式，还允许建筑师互动地参与并调整分区配置，以便更详细地分析公共空间内的社会行为。

本文探讨了行为与几何之间的复杂互动，介绍了一种定制工具和创新方法，以增强建筑师在结合其独特的空间解释时阐明社会行为时空模式的能力。本研究的核心目标是揭示几何细分在公共空间中对复杂社会互动的深远影响，特别是在我们快速加速发展的社会背景下。

2.文献综述

传统的观察技术往往难以记录动态行为模式，尤其是在复杂环境中。然而，视频跟踪克服了这些挑战，能够实现对受试者的连续、非侵入式监测，使建筑师能够全面了解他们对环境刺激的反应。

视频跟踪的一个关键优势是它能够促进行为时空模式的分析。它的根源在于威廉的开创性工作

H. Whyte是一位先驱者，他的广泛研究从根本上改变了我们对城市空间中人类行为的理解。**Whyte的开创性研究，特别是他对西格拉姆大厦前庭的研究**，提供了关于个人与其城市环境互动的时间方面的宝贵见解。Whyte引入了时空图，描绘了行人流动的潮起潮落。在标志性的视觉作品《西格拉姆北侧平台一天的生活》中，Whyte捕捉到了平台上社会行为的模式。他构建了一个类似自动钢琴卷轴的编年图表。图表上的每一行代表一个座位，长度表示他们停留的时间，右侧的列则标明当天的总入住人数。图表底部的连续线追踪了随时间变化的总座位数，为城市空间内人类参与的集体模式增添了额外的一层洞察（Whyte, 1980）。Whyte在本研究中所体现的创新和开创性方法论，奠定了共同基础的原则。当代视频追踪技术。此外，他的时空图详细剖析并关联了行为模式与塞格拉姆大楼前庭设施分布的关系。这一分析通过揭示人类活动与公共广场内设施几何布局之间的关系，对城市设计做出了重要贡献，从而为更有效、以用户为中心的建筑设计提供了信息。

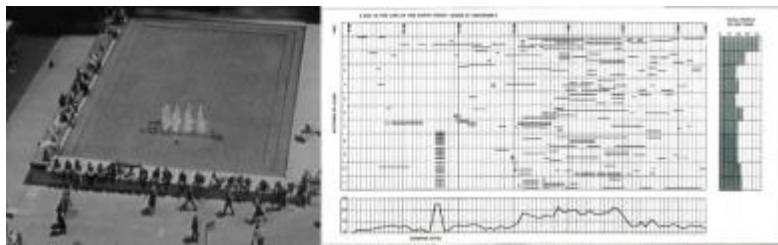


图1. William H. Whyte的时空图

今天，数字技术的出现，如人工智能识别和分割算法，已经彻底改变了视频跟踪行为研究，提高了精确度和自动化水平，为研究人员深入探索时空动态的复杂性开辟了新的领域。在建筑学领域，冈萨雷斯·罗哈斯通过数据驱动模型捕捉四维行人行为，解决了将人体运动融入建筑设计的挑战（冈萨雷斯·罗哈斯，2017）。更详细地，安布罗斯介绍了一种新的数字调查方法，专注于运动中人体的几何平移。这项工作探讨了由人体产生的空间体验，重新诠释了身体及其动态运动作为一系列事件空间（安布罗斯，2007）。对于更大规模的视频跟踪，郭、王和袁利用无人机摄影在户外建筑环境中感知人类行为。**该研究介绍了一个系统，集成了热红外图像获取和处理技术，捕捉城市模式和人类行为特征（郭等，2019）。**尽管一些研究专注于开发视频跟踪技术，其他人则探索了物理观测和虚拟实验的整合。Yan

提出了一种利用自动视频跟踪和高质量虚拟现实的集成系统，以增强环境行为研究。这一创新方法不仅提供了行为模式的大量统计数据，还允许建筑师在虚拟现实中从不同视角互动观察行为细节（Yan, 2006）。Pechlivanidou-Liakata等人还探讨了真实和虚拟建筑环境中引发的空间导航模式。他们的研究重点是识别在两种情境下触发人类行为的元素，无论是物质还是非物质的。通过一系列在真实和虚拟环境中的实验，该研究证实了空间探索感知在虚拟环境中的主要作用，强调了特定建筑元素对主体移动和探索的影响（Pechlivanidou-Liakata等人，2010）。

视频跟踪方法的演变远远超出了架构领域，展示了在各个领域的多样化应用。虽然架构实现主要集中在行为的全局映射，但其他领域则定制了视频跟踪方法以进行更广泛的分析。在神经科学领域，Arac等人介绍了DeepBehavior，这是一个深度学习工具箱，用于动物和人类的行为详细分析，适用于神经科学和临床运动功能评估（Arac等人，2019）。关于特定行为，Auguste等人提出了一种群体移动的行为分析方法，利用图像分析算法得出的参数检测城市环境中异常现象，为增强视频监控中的危险行为提供了潜在应用（Auguste等人，2021）。Albusac等人提出的智能监控涉及人工智能技术和正态性分析来检测异常行为。这一基于正态性概念的概念框架，为设计监控系统提供了现实可行的解决方案（Albusac等人，2009）。Wu等人。在行人移动中预测长期轨迹，提出了一种考虑空间和时间维度的空间时间树搜索方法，展示了其在自动驾驶和智能导航中的潜力（吴等，2022）。托伦斯和古提出了逆向增强，这是一种创新的方法，将真实的人类用户沉浸在城市模拟中，将其具身行为转化为模型（托伦斯和古，2023）。最后，雷扎伊和阿扎尔米提出了DeepSOCIAL，这是一种结合计算机视觉和深度神经网络的混合模型，用于自动化人员检测和社会距离监测，在COVID-19大流行背景下展示了其卓越的性能和感染风险评估能力（雷扎伊和阿扎尔米，2020）。这些研究共同强调了视频跟踪方法在架构之外的多功能性和定制化，提供了神经科学、监控、人群分析和公共卫生领域的详细见解和应用。

总之，在建筑学科的视频跟踪行为研究领域，技术进步更多地集中在处理复杂场景、提高跟踪精度和管理大规模数据。然而，主流方法仍然侧重于通过热图和轨迹绘制来宏观映射行为，常常忽视了分析维度和内容的重建。相反，在不同领域中，对心理视频跟踪机制和分析方法的创新探索揭示了多样的行为模式。这不仅为理解行为之间的复杂关系开辟了途径。

它不仅提供了空间，还为重新定义本研究的研究路径提供了灵感和技术基础。

3. **BodyCAM:** 定制视频跟踪工具

在建筑领域，现有的行为追踪工具和方法主要通过将行为数据映射到空间布局上来解决几何挑战。**然而，这种方法在建模高度详细的小型公共空间中行为与形式之间的复杂时空关联时存在不足。**为了克服这一局限，本文提出了一种基于名为BodyCAM的定制视频追踪软件的创新分析方法。

这款定制软件专为识别复杂城市和建筑空间中多个个体之间的动态互动而设计。BodyCAM的底层计算机视觉技术基于YOLOX和ByteTrack开源算法构建，这两种算法均以其在物体检测和多目标跟踪方面的卓越性能而闻名。YOLOX是YOLO系列的高级进化版本，采用无锚点方法并引入了复杂的检测技术。这导致了多种模型的出现，在COCO数据集上的平均精度（AP）方面表现出色。另一方面，ByteTrack致力于多目标跟踪，旨在恢复真实对象并过滤背景检测，最终在多个跟踪基准测试中取得了出色的结果。

为了增强其分析能力，BodyCAM引入了模拟透视畸变功能。用户可以通过在视频上绘制参考点来建立转换矩阵，从而将地面布局转换为俯视正射影像。这种转换对于准确地将行为轨迹和分析视图投影到平面地图上至关重要，消除了由透视畸变引起的维度误差。这一校正在计算相对指标如行人距离和速度时尤为有益，确保了空间分析的精确性。

BodyCAM扩展了其功能，涵盖了针对多个目标个体的一系列基础分析。首先，该软件有助于计算社交距离，通过热图可视化呈现结果。同时，软件提供基于网格的地图进行职业分析，代表不同目标的累积情况，颜色编码表示不同的密度。它还提供了每个网格中**目标累积停留时间的计算**，提供时间动态的细致理解。此外，用户可以深入进行进一步分析，探索行人轨迹、速度和其他行为特征。

最重要的是，BodyCAM引入了一项新颖的功能，**通过交互界面赋予建筑师权力。**建筑师可以直接在视频片段上划定区域边界，从而分析这些**定义区域内的空间模式**。该软件不仅能够根据空间的物理布局指定区域边界，还允许建筑师以精确符合其对空间理解的方式绘制这些区域的复杂几何形状。这一互动且可定制的功能为建筑师提供了一种高级工具，帮助他们解开不同建筑环境中时间空间模式的复杂性。

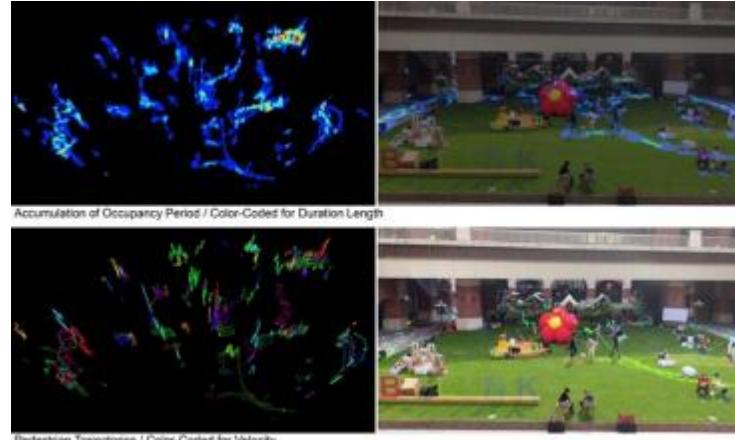


图2. BodyCAM: 视频跟踪和分析工具

4.一种交互式的行为跟踪设计方法

BodyCAM中的互动区域划分和时空行为映射功能为建筑师提供了一种新颖的复杂行为分析方法。现在，建筑师可以预先分析视频片段或主观定义不同形式的空间布局，揭示在不同区域几何形状中行为分布的时空模式。这提供了一种独特的方法，建立空间区域形态元素与行为模式之间的关联，为建筑师提供了新的可能性，让他们能够洞察不同建筑环境中的人类动态。

4.1.空间几何分类

该方法的基础是全面探索各种分区几何分类，包括物理和虚拟分区几何。

物理分区几何是指基于固有的物理元素的视频片段中的空间划分。

- 空间元素定义区域：第一种物理分区几何是通过设计的空间分隔元素定义的区域，如墙壁、家具、绿色元素、路面和自然分割空间的高程差异。
- 吸引体形成的区域：另一种物理分区几何结构是由作为吸引体的物体形成向外辐射的区域。这些物体可以包括树木、游乐设施、装置、座椅设施等。

另一方面，虚拟分区几何是潜在的空间配置，需要建筑师进行探索。

- 潜在视觉层：一种类型涉及视觉判断的分区划分，例如

有阴影的区域和没有阴影的区域。

- 建筑师的主观解释：第二种类型依赖于建筑师的主观判断，在物理空间中识别出隐含的空间区域。这些区域可能包括具有设计感觉的区域，建筑师需要识别并将其描绘在视频中。
- BodyCAM预分析：第三种类型是利用BodyCAM软件的基本功能进行预分析，例如在人口密集地区进行的跟踪结果可以作为分区的参考。
- 外部软件预分析：第四种类型涉及使用外部软件进行预分析，例如微气候模拟工具，这些工具根据热舒适度和风环境等因素生成空间热图。这些结果产生了多种空间配置类型。



图3.Zoning Geome的分类及其相应的时空模式

452赵艳、特丽、石燕刘等。

这项关于视频空间分区几何的类型学研究，提供了对不同空间配置的详细理解，增强了识别每种类型对行为影响的能力。通过使用BodyCAM软件，建筑师可以针对每个类别创建时空分布图，阐明各种空间元素与行为模式之间的复杂互动。

4.2.时空分析工作流程

基于绘制分区几何的时空行为分析过程包括三个主要阶段。首先，建筑师通过使用各种软件工具进行预分析或直接在视频截图上绘图来进行初步的空间评估，从而准备分区几何。

后续步骤涉及使用开发的软件界面来划定空间背景中的各种几何边界。这些边界可以是不同铺面之间的分界线、城市家具的轮廓以及绿地的曲线等。通过精确追踪这些边界，空间被划分为一系列具有不同形状的区域。软件分析了这些区域的空间时间占用情况，并以威廉·H·怀特的图表风格呈现了研究结果。

第三，软件实时跟踪空间内人群的移动，并将这些数据映射到图表中。随后，通过基于不同的空间解释对不同几何边界的交互式追踪，软件揭示了行为模式与隐藏的空间几何层之间的图示关联。

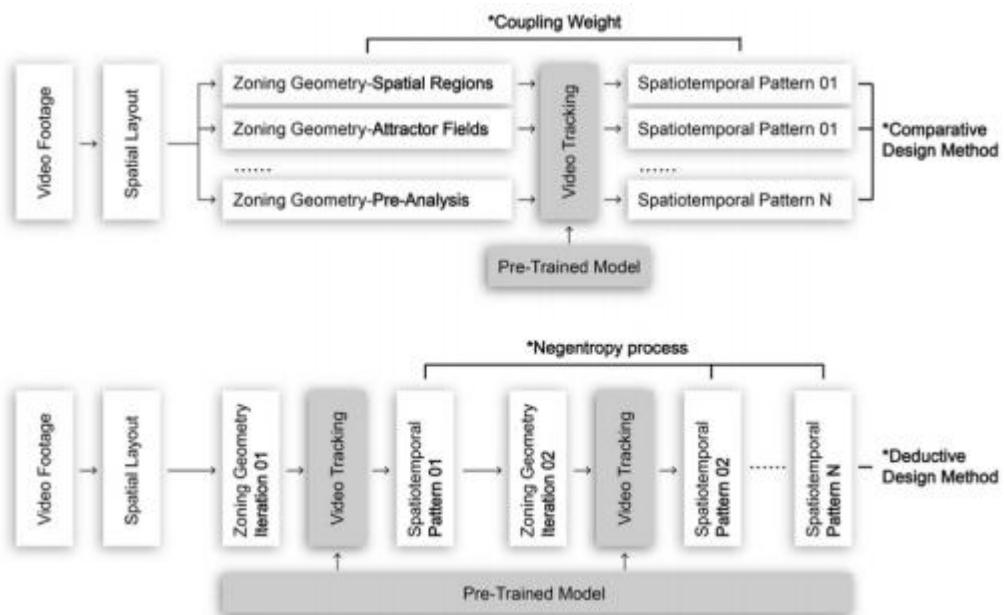


图4.视频追踪方法设计流程

从设计的方法论角度来看，基于绘图分区几何的空间时间行为分析可以分为两种主要方法。第一种方法是根据不同的特征一次性生成一组分区图，并配以各自的行为时空图。这使得能够分析每个特征内的行为时空模式，揭示基于不同耦合权重的空间影响机制。最终，通过比较不同特征之间的时空密集区域，可以揭示设计元素对特定时空行为模式的影响程度。第二种方法则从对空间的概念理解开始，创建一个单一的分区几何及其相应的行为时空图。然后，通过基于某些规则的迭代调整以及持续观察时空行为图的变化，该方法逐步优化分区形式，使其与特定的时空行为模式相匹配。这两种方法的结果和见解为建筑设计师。

5. 结论与讨论

总之，视频追踪技术的出现标志着环境行为研究领域的一次范式转变。它能够捕捉、量化并分析自然栖息地中复杂的行为，极大地提升了我们对社会动态的理解。随着技术的不断进步，视频追踪本身也展现出巨大的发展潜力。然而，要充分发挥其潜力，研究人员需要深入探索其操作机制，揭示多维度下的细微空间行为模式。

引入的分析方法基于定制的追踪工具BodyCAM，为建模人类行为与复杂建筑空间分区几何的关系开辟了新的可能性。这一综合研究架起了高级行为分析与经典形式分析之间的桥梁。因此，本文通过扩展对分区形态的概念和操作理解，做出了重要贡献，这种理解植根于建筑与行为之间错综复杂的相互作用。

当前论文仍存在局限性。主要集中在工具的开发上，初步探讨了所提出的方法。它有助于对分区几何类型进行理论理解，并概述了两种潜在的建筑设计分析过程。未来的研究应超越工具开发，深入探讨该方法在不同空间环境和设计目标中的实际验证。这一验证过程对于充分发挥所提方法的潜力至关重要，确保其在实际场景中的适用性，进一步完善其理论基础和方法论应用。

致谢

本论文由产学研合作教育项目（202102560006）资助。

454 CH AO YAN, TE LI, SIYAN LIU等。

参考文献

- Albusac, J., Vallejo, D., Jimenez-Linares, L., Castro-Schez, J. J., & Rodriguez-Benitez, L. (2009) 基于正态分析的智能监控检测异常行为, 国际模式识别与人工智能杂志, 23 (07), 1223-1244.
- 安布罗斯, M. A. (2007)。身体|形式|空间: 运动中身体的几何转换。在“虚拟建筑”中: 阿拉伯第三国际会议计算机辅助建筑设计学会 (ASCAAD 2007), 2007年11月28日至30日, 埃及亚历山大 (第431-438页)。
- Arac, A., Zhao, P., Dobkin, B.H., Carmichael, S.T., & Golshani, P. (2019)。DeepBehavior: 一种用于自动分析动物和人类行为成像数据的深度学习工具箱。Frontiers in system neuroscience, 13,20。
- Auguste, A.、Oudinet, G.、Kaddah, W.、Elbouz, M.和Alfalou, A. (2021年4月)。在视频监控中实施一种行为分析方法来分析人群移动。见 Pattern Recognition and Track XXXII (第11735卷, 第126-133页)。SPIE。
- Gonzalez Rojas, P. (2017) 空间与运动: 4D行人数据驱动模型行为.学科与颠覆第37届建筑计算机辅助设计协会年会论文集 (ACADIA) (第266-273页)。马萨诸塞州剑桥: ACADIA。ISBN 978-0-692-96506-1。
- Guo, Z., Wang, X., & Yuan, P.(2019年)感知建成环境中的人类行为.《Hello,Culture!》第18届国际会议论文集,CAAD Futures 2019(第378-388页)。
- Pechlivanidou-Liakata, A.、Kerkidou, M. P.、Zerefos, S. C.、Stamenic, M.、Mikrou, T.、Doulgerakis, A. (2010) .真实与虚拟环境中的空间导航模式建筑环境。在未来的城市中, 第28届eCAADe会议论文集 (第755-763页)。苏黎世联邦理工学院 (瑞士)。
- Rezaei, M., & Azarmi, M.(2020). Deepsocial:covid-19大流行期间的社会距离监测和感染风险评估. Applied Science,10(21),7514.
- Torrens, P. M., & Gu, S. (2023) . Inverseaugmentation: Transforming real people into行人模型。计算机、环境和城市系统, 100,101923。
- Whyte, W.H. (1980年), 《小城市空间的社会生活》, 保护基金会。
- Wu, T., Lei, P., Li, F., & Chen, J.(2022):时空树搜索用于长期轨迹预测.IEEE Access,10,117745-117756.
- Yan, W. (2006) : 环境行为研究中视频跟踪与虚拟现实的集成。见: 第25届建筑计算机辅助设计协会年会论文集 (第483-488页)。