

# 仪表化自行车及其在交通行为、安全和维护研究中的应用

普雪儿卡瑞、加兹比拉尔夫

(所属单位: 土木与环境工程, 美国)

**摘要:** 仪表化自行车是了解骑车人行为和偏好的重要工具, 可以将自行车纳入交通系统的建模、设计和规划中。使用仪表化自行车进行交通相关研究的文献越来越受欢迎, 尤其是在过去 6 年中。随着这些研究的数量和成熟度的增加, 现在似乎是回顾自行车的使用方式、传感器和方法的选择以及未来工作需要填补的空白的好时机。因此, 本文综述的目的是 1) 讨论与方法相关的传感器选择, 2) 回顾使用仪表自行车研究的主题的结果, 以及 3) 讨论文献中的差距。作者在两个数据库中搜索了使用仪表化自行车的基于交通的文献, 共有 75 篇文章符合纳入标准。文献分为九个重点领域, 最常见的主题是电动自行车、车辆经过骑自行车的人和重大事件。结果表明, 装有仪表的自行车是多功能工具, 可以阐明骑车人行为和安全的各个方面, 以及如何为他们维护系统。这些研究使用了各种传感器, 但相机、GPS 和加速度计是最常见的。该评论强调了研究技术(自然主义与准自然主义与其他)对传感器选择的重要性, 其中 GPS 和/或相机对任何自然主义研究都至关重要。然而, 由于处理数据的难度和耗时性, GPS 和相机是最具挑战性的数据类型。传感器的变化也表明需要对设置进行标准化, 以便在国际范围内比较数据。本文还讨论了未来研究的领域, 包括超车距离研究的新视角以及将仪表化自行车纳入互联车辆/基础设施空间。

**关键词:** 仪表化自行车、自然骑行、传感器、行为、安全

## Instrumented bikes and their use in studies on transportation behaviour, safety, and maintenance

Pucher Kari, Gadsby Ralph

(Affiliation: Civil and Environmental Engineering, USA)

**Abstract:** Instrumented bikes are a critical tool to understanding cyclist behaviour and preferences to incorporate cycling into modelling, designing, and planning the transportation system. Literature using instrumented bikes for transportation-related research has increased in popularity, especially in the last 6 years. As these studies are growing in number and maturity, now seems a good time to review how the bikes have been used, choices of sensors and methodology, and where there are gaps to be filled by future work. Therefore, the objectives of this literature review are to 1) discuss sensor choice in relation to methodology, 2) review findings from topics studied using instrumented bikes, and 3) discuss gaps in the literature. Two databases were searched for transportation-based literature using instrumented bikes with a total of 75 articles meeting the inclusion criteria. The literature was organised into nine focus areas with the most common topics being E-bikes, vehicles passing cyclists, and critical events. The results show that instrumented bikes are versatile tools that can shed light on a variety of aspects of cyclist behaviour and safety as well as how to maintain the system for them. Various sensors were used for these studies, but cameras, GPS, and accelerometers were the most common. The review highlights the importance of study technique (naturalistic vs quasi-naturalistic vs other) on sensor choice with GPS and/or cameras being critical to any naturalistic study. However, GPS and cameras are the most challenging data types to work with due to difficulty and the time-consuming nature of processing the data. The variation in sensors also suggests some need to standardise set-ups for comparison of data across international contexts. Areas for future research are also discussed, including a new perspective for passing-distance studies and incorporating instrumented bikes into

the connected vehicle/infrastructure space.

**Keywords:** Instrumented bikes, naturalistic cycling, sensors, behaviour, safety

## 引言

骑自行车有许多众所周知的社会效益，包括减少空气污染、缓解拥堵和改善公共卫生。然而，在大多数国家，骑自行车的人数仍然很少。可以将骑自行车作为一种安全可行的交通工具进行推广，以供所有人和所有旅行目的使用。鼓励广泛的社会群体骑自行车所需的政策和计划与鼓励高水平骑自行车的政策和计划相同：独立自行车设施的广泛系统、十字路口改造和优先自行车交通信号、社区交通平静、安全方便的自行车停放，自行车与公共交通的协调和整合，对骑车人和驾车者的交通教育和培训，以及有利于骑车人和行人的交通法规。

人们越来越有兴趣通过增加自行车模式份额来利用这些社会效益。为了做到这一点，人们希望通过自行车研究来更好地了解如何将自行车纳入模型，并使其在安全性和舒适性方面更具吸引力。自行车研究中经常使用多种研究方法，包括调查、模拟和自然骑行。随着 2000 年代 Arduino 和 Raspberry Pi 的出现，便携式记录设备的制造成本变得越来越低，配备传感器的自行车越来越多地用于该领域的研究。自 2000 年以来，发表了许多使用仪表自行车的文章，本综述中有 75 篇。在那段时间里，研究人员阐明了骑自行车的许多话题，例如电动自行车骑手的行为和影响通过距离的因素。随着这些研究的数量和成熟度的增加，现在似乎是回顾自行车的使用方式、传感器和方法的选择以及未来工作需要填补的空白的好时机。因此，本文将 1) 讨论与方法相关的传感器选择，2) 回顾使用仪表自行车研究的主题的发现，以及 3) 讨论文献中的差距。本文的组织结构使得接下来的部分将讨论文献综述的方法、研究的元数据和使用的传感器。然后，本文回顾了文献中的主要发现以及传感器的选择，并在整个研究中强调了差距。最后，作者给出了结论和未来研究的方向。

方法

## 纳入和排除标准

要包含在本文综述中，研究需要满足五个标准。首

先，仅包括以英文发表的研究。此外，该研究需要以同行评审的形式发表。第三，必须使用配备传感器的自行车作为数据收集过程的一部分。仅将传感器放在骑手身上（即在背包中）的研究被排除在外，因为它会扩大这篇文献综述的重点，超出单篇文章的范围。第四，研究必须以交通规划或工程为重点。这意味着将主要关注健康与交通分开研究（即仪表化自行车在疾病/伤害康复、空气质量测量等方面的潜力）或自行车设计（即为运动自行车手改进曲轴）被排除在外。此外，路线选择作为一个类别被排除在外，因为有大量关于路线选择的基于 GPS 的文献需要单独的一篇文章，并且没有使用所选的搜索词有效地捕获。用于这些研究的数据收集技术在其路线识别方面将类似于其他自然主义研究，因此排除这些研究并不会对传感器讨论造成损失。最后，研究必须至少包括一些户外骑行。这排除了纯粹基于实验室或模拟器的研究。

## 按主题划分的主要发现

专注于电动自行车对骑行行为和安全的影响的研究

随着电动自行车在世界范围内越来越流行，电动自行车研究试图评估电动自行车对安全的影响。总的来说，结果非常一致。人们在骑电动自行车时会跑得更快。兰福德等人研究了田纳西州一所大学的电动自行车使用情况，发现电动自行车骑手平均比传统自行车骑手快 3.3 公里/小时。Huertas-Leyva 等人使用自然主义方法让六名参与者每人骑行两周，发现电动自行车骑手的行驶速度平均比传统自行车骑手快 22%。荷兰的一项研究发现，电动自行车和传统自行车骑行之间的速度差异取决于情况的复杂性，骑车人的骑行速度仅快约 1.5 公里/小时在复杂情况下骑电动自行车，在简单情况下快 3.5 公里/小时。德国自然自行车研究发现，电动自行车骑手的平均时速为 17.4 公里，传统骑手的平均时速为 15.3 公里。从这些不同的情况来看，骑电动自行车时速度增加了大约 2-3.5 公里/小时。大多数分析骑车人速度的研究都包含速度计数据，而只有两项研究通过 GPS 获取速度数据。兰福德

等人使用以 GPS 为标准设备的共享单车, 因此使用 GPS 收集速度数据成为自然选择。然而, 两项研究都没有具体讨论其传感器选择背后的原因。基于 GPS 可能带来的缺点(即在无清晰天空视野的情况下不准确), 想要优先考虑速度数据的研究可能会受益于使用从速度计收集的数据来补充 GPS 数据, 就像其他研究所做的那样。

### 主要研究影响机动车超车距离和超车速度的因素

关于车辆经过骑车人的研究最常使用横向距离传感器(例如超声波或相机)来检测车辆距离。与电动自行车的研究不同, 结果好坏参半, 尤其是关于自行车道对增加通过距离的有用性。四项研究发现自行车道增加了通行距离, 而 3 项研究发现自行车道减少了通行距离, 另外两人声称这种影响尚无定论或不是一个重要变量。在这两种情况下, 传感器的选择各不相同。对于混合结果可能有很多解释, 包括驾驶员文化、车道宽度、骑车人的位置和横向间隙的定义。然而, 双方都有来自不同背景的支持。Stewart 和 McHale 以及 Shackel 和 Parkin 认为, 自行车道的存在与否并不是影响超车距离的最重要因素。研究中一直得出的两个对超车距离很重要的因素是超车车辆安全进入另一条车道的能力和车道宽度。Stewart 和 McHale 根据 11 个变量的 1,908 个观察结果开发了一个广义线性模型。他们发现自行车道宽度在统计上不显著。前三个最重要的变量是绝对道路宽度、路内停车位和对面车辆的存在。相比之下, 贝克等人发现大多数近距离通过事件都发生在没有停放汽车的情况下。Shackel 和 Parkin 还开发了一个线性模型, 发现同向有 2 条车道, 车道宽度越大, 超车速度和距离越远。Vanderschuren 和 Ithana 发现在高机动性道路(通常有更多和更宽的车道)上, 超车距离更大。总的来说, 在考虑超车距离时, 重点似乎不应该放在有无自行车道上, 而应该放在司机给骑车人让出空间的难易程度上。这些研究利用横向距离传感器或摄像头来检测近距离通行和有关骑车人周围基础设施的信息, 以了解影响超车距离的因素。尽管检测近距离传球对这些研究至关重要, 但上下文信息也很重要。摄像头可用于检测路过的交通状况, 尽管这样做可能需要大量

处理。需要额外的数据, 例如基础设施的调查来补充相机数据。

### 专注于基础设施管理的研究

涉及基础设施的研究可以分为两个重点: 特定功能和维护。这些研究严重依赖加速度计数据。五项研究着眼于特定特征。新西兰一个小组的两项研究研究了线路类型和道路物体对自行车稳定性的影响。他们使用转向角电位器和加速度计测量稳定性。他们的总体发现是, 不稳定性不仅仅是身高的函数。在他们研究的 20 种物体/线类型中, 最差的是粗糙的地面、圆形公用设施通道盖、圆顶和松散的砾石。Vasudevan 和 Patel 使用车把和座椅上的加速度计研究了减速带给骑车人和机动双轮车辆带来的不适感。他们发现骑车人的不适感更大, 尤其是手部。希腊的一项研究使用 GPS 来查看与路面类型相关的骑车人的制动情况。他们发现, 沥青在沥青、混凝土和热塑性塑料彩色车道中提供了最好的摩擦力。Lee、Shin、Kang 和 Lee 尝试使用具有实时运动学能力的 GPS 来确定单向自行车道的最小宽度。他们发现, 基于必要的机动空间, 2 米是没有路缘或排水沟的最小宽度。其中六项研究着眼于测量路面状况以进行维护。

Nuñez、Bisconsini 和 Rodrigues da Silva 开发了一种使用视频记录、GPS 和加速度计评估自行车基础设施状况的方法。他们发现路面确实会影响垂直加速度。混凝土振动最小, 铺路砖振动最大。Neto、Viana、Braga 和 Oliveira 使用加速度计和 GPS 对表面进行了分类。Bíl、Andrášik 和 Kubeček 将垂直加速度读数与参与者的主观舒适度评分进行了比较。他们发现主观评分与转换为动态舒适指数值的加速度计读数之间存在很强的相关性(系数为  $-0.94$ )。他们还发现骑自行车的人的速度会影响加速度计的结果, 这在任何其他研究中都没有受到控制。来自英国的一个小组开发了一种用于评估路面状况的自行车, 他们称之为 IntelliBike。他们的自行车配备了向前和向下的摄像头、加速度计、GPS、速度计、声级计、光度计和麦克风。他们发现影响舒适度的最重要因素是与表面维护相关的因素, 例如碎屑和缺陷。这些研究都没有

将它们的价值与现有的路面评估系统联系起来。

### 专注于骑自行车者压力的研究

不仅仅是身体上的舒适, 情绪上的舒适对骑车人的骑行决定也很重要。Feizi、Oh、Kwigizile 和 Joo 有 51 名来自他们大学的参与者使用配备传感器(包括前向摄像头、GPS、转向传感器和骑手身体位置传感器)的仪表化自行车以及舒适度调查来了解骑车人的舒适度。他们发现, 自我报告技能水平较低的骑车人获得较低舒适度的可能性更高。他们还发现, 骑车人必须转弯或机动的十字路口和次数越多, 舒适度就越低。Yamanaka、Xiaodong 和 Sanada 开发了包含骑车人压力的评估模型。他们在中国、法国和日本收集了包括摄像头、横向距离和制动数据在内的数据, 以构建他们得出结论的模型。

### 研究侧重于冲突及其原因

自然主义自行车运动是使用仪表自行车研究冲突的最流行方式。关键事件最常见的定义来自自然驾驶研究——当一方必须减速或改变方向以响应事件时。由于这个定义, 大多数研究都结合了摄像头、GPS 和一些测量骑车人刹车活动的方法。人们一致认为, 十字路口、十字路口和维护不善的基础设施是冲突最多的地方。Dozza 和 Werneke 让 16 名骑手骑了 2 周, 每人骑着配备前向摄像头、IMU、GPS 和刹车传感器的自行车。他们发现十字路口的归因风险最高, 其次是行人/骑自行车的人和人行道表面。此外, 他们发现在十字路口附近和路面维护不善的地方, 发生重大事件的风险更高。他们更深入地研究了这些数据, 并将其与对参与者的访谈相结合。他们发现视觉遮挡在十字路口和其他自行车的事件中很常见。德国自然自行车研究还考虑了使用相机、GPS 和速度传感器的关键事件。他们有 28 名参与者骑了四个星期, 发现大多数骑手只经历过 1-3 次冲突。车辆的重大事件最常见的原因是驾车者未能屈服。他们还发现, 自行车基础设施上发生重大事件的风险是公路上的 2 倍, 考虑到每辆自行车行驶的距离。他们没有挑出十字路口, 但确实考虑了一半以上 (57%) 与自行车或行人发生冲突的冲突伙伴, 这可以解释关键事件风险的发现在自行车基础设施方面更高。

### 结论和未来研究

本研究对使用仪表化自行车研究的主题进行了文献综述。在过去十年中, 使用仪表化自行车的研究迅速增加, 涉及多个主题领域。涵盖的各种研究目标表明, 配备仪表的自行车是自行车研究中有用、有效且重要的工具。最常用和最通用的传感器是 GPS、相机、加速度计和速度计。这里强调了未来研究的几个关键领域。骑车人和司机与骑车人互动的行为可能会受到大量地区差异的影响, 因此比较不同地区的结果很有意义。但是, 跨研究需要对关键变量(例如关键事件)的定义保持一致。同样, 也希望仪器的一致性。尽管传感器的选择在很大程度上取决于研究目标, 但开发具有某些最常见传感器类型的传感器套件或设计用于可由许多研究团队构建和使用的特定主题的研究将使该领域受益。上面讨论的每个重点领域还包括对该主题最常见和最相关的传感器的讨论, 并且可以用作此类套件的起点。

### 参考文献:

1. Angel-Domenech, A., Garcia, A., Agustin-Gomez, F., & Llorca, C. (2014). Traffic conflict analysis by an instrumented bicycle on cycle tracks of Valencia. In 3rd International Cycling Safety Conference (pp. 1-19).
2. Beck, B., Chong, D., Olivier, J., Perkins, M., Tsay, A., Rushford, A., ... Johnson, M. (2019). How much space do drivers provide when passing cyclists? Understanding the impact of motor vehicle and infrastructure characteristics on passing distance. *Accident Analysis & Prevention*, 128, 253-260. doi:10.1016/J.AAP.2019.03.007
3. Cleland, B. S., Walton, D., & Thomas, J. A. (2005). The relative effects of road markings on cycle stability. *Safety Science*, 43(2), 75-89. doi:10.1016/J.SSCI.2005.01.001
4. Dozza, M., Bianchi Piccinini, G. F., & Werneke, J. (2016). Using naturalistic data to assess e-cyclist behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 41, 217-226. doi:10.1016/J.TRF.2015.04.003
5. Huertas-Leyva, P., Dozza, M., & Baldanzini, N. (2018). Investigating cycling kinematics and braking maneuvers in the real world: E-bikes make cyclists move faster, brake harder, and experience new conflicts.

Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 54, 211–222. doi:10.1016/J.TRF.2018.02.008

6. Ithana, T., & Vanderschuren, M. (2013). Investigation of separation distances between cyclists and motorists in Cape Town. In Abstracts of the 32nd Southern African Transport Conference (pp. 464–474). Pretoria. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/262932962>

7. Jahangiri, A., Elhenawy, M., Rakha, H., & Dingus, T. A. (2016). Investigating cyclist violations at signalcontrolled intersections using naturalistic cycling data. In 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 2619–2624). IEEE.

8. Love, D. C., Breaud, A., Burns, S., Margulies, J., Romano, M., & Lawrence, R. (2012). Is the three-foot bicycle passing law working in Baltimore, Maryland? Accident

Analysis & Prevention, 48, 451–456.

doi:10.1016/J.AAP.2012.03.002

9. Ma, X., & Luo, D. (2016). Modeling cyclist acceleration process for bicycle traffic simulation using naturalistic data. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 40, 130–144. doi:10.1016/J.TRF.2016.04.009

10. Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Cycling for everyone: Lessons from Europe. Transportation Research Record, 2074, 58–65. doi:10.3141/2074-08

11. Rios, I., Golab, L., & Keshav, S. (2016). Analyzing the usage patterns of electric bicycles. Proceedings of the Workshop on Electric Vehicle Systems, Data, and Applications - EV-SYS '16 (pp. 1–6). New York, NY: ACM Press. doi:10.1145/2939953.2939955