

城市道路交通运行特征三维可视化分析*

刘秀彩, 蔡晓禹, 蔡明, 谭宇婷

(重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

摘要: 为直观地探究多源、海量、异构交通数值型信息所隐含的交通规律, 对交通数据进行可视化分析, 从流量、速度、交通状态三方面分析了交通运行可视化的研究现状, 总结了存在的问题与不足, 提出了一种基于时间、空间、交通属性的三维可视图谱库的分析大数据背景下交通规律的思路; 结合交通可视化面临的挑战和研究趋势, 开发了交通可视化分析平台, 为掌握不同典型情境下交通运行时空演变规律提供技术手段。

关键词: 城市交通; 交通拥堵; 交通运行特征; 可视化分析

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0027-06

随着机动车保有量的快速增长, 城市交通拥堵日益严重, 道路服务水平已满足不了持续增长的交通需求, 路网运行状态和效率引起了全社会的广泛关注。交通实践证明, 准确掌握道路交通系统的运行状态, 并对整个路网进行及时管控, 是提高交通路网通行能力的可靠、有效路径。智能交通系统的发展和数据采集系统在城市逐渐完善, 多样化的数据获取方式使交通数据具有多源、海量、异构的特点。借助大数据时代的契机, 为更好地优化交通路网, 给交通管理提供更可靠的决策依据, 研究交通数据的处理与模式迫在眉睫。相对于抽象的数字信息, 可视化技术可实现将数字转变为图形图像的视觉飞跃, 特别是三维可视化技术的应用, 可提升交通数据的利用效率。

交通系统具有随机性、非线性特点, 交通量的任意波动都会带来很多不确定性。面对城市路网运行的时间动态性、空间相关性等特点, 为更准确地反映城市交通时空运行特征, 挖掘大数据环境下交通数据背后隐藏的交通规律, 大力发展交通可视化理论和方法显得尤为重要。

1 交通运行可视化发展历程

1.1 交通可视化进程回顾

20 世纪 80 年代, 科学计算可视化带动了可视化技术的出现。1986 年 10 月, 在美国国家科学基金会的“图形、图像处理和工作站”讨论会上, 提出了“科学计算可视化(Visualization in Scientific Com-

putation, ViSC)”的概念, 从此可视化技术被正式提出。可视化技术将数据转化为图形、图像或动画, 可直观地表达数据所蕴含的规律及趋势。该技术最早应用于地图, 这奠定了交通可视化的发展基础。

随着交通信息系统的日益改进及完善, 可视化技术被广泛应用到交通领域, 成为一项重要的智能交通技术。交通领域的可视化包括地理空间信息的可视化和交通专题信息的可视化两部分。从可视化内容上, 交通可视化从最基础的交通路网可视化逐渐发展到交通流参数、交通轨迹、公共交通客流量、交通事件等交通领域的各方面, 从道路交通拓展到与交通相关的其他社会领域; 从表达手段上, 交通可视化从地图、统计图表等相对传统的可视化方式发展到流向图、马塞克图、热力图、密度图、轨迹墙、动画地图、时空立方体、主题河等新型表现形式; 从空间维数上, 交通可视化在处理二维数据、三维数据、时间数列数据、多维数据的同时, 形成了直观可视化、聚集分析、特征可视化 3 种可视化方法。

1.2 交通运行状态的可视化依据

合理划分交通运行状态是城市道路进行交通管理和控制的依据, 有效缓解交通运行压力, 提高交通系统的运行效率。国外学者在流量、速度、占有率或密度等基本交通参数的基础上对准确划分交通状态进行了大量研究, 为交通状态的研判提供理论支持。Herman M. 等最先对交通状态划分进行探究, 将交通状态划分为拥挤状态、畅通状态两类, 其他状态的划分都是在这两类状态的基础上进一步细化。随着

* 基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2015shms-ztx30002)

研究的深入,国内外学者开始探讨不同交通参数对交通状态划分的影响。王璇等认为在速度很高、速度很低或占有率很大的情况下,可直接判断交通状态,其他情况下应根据流量、速度等多个交通参数进行综合判断;张心哲等采用 k-means 方法进行交通状态划分,得出密度是交通状态划分的关键因素。国内外对道路交通运行状态的评价方法多限于常态,常用评价指标有饱和度、拥挤度、平均车速、延误、车道占用率、服务水平等。

在城市管理中,实时准确地掌握交通运行规律,并对交通运行状态作出准确预测,预知交通拥堵等紧急情况,对营造安全、高效、有序的城市路网起着至关重要的作用。国内外学者通过对交通数据的分析处理,主要从流量、速度、交通状态 3 个层面对交通运行状态进行可视化分析。

2 城市交通运行可视化分析方法

2.1 交通流量分析

早期交通可视化主要围绕交通流量进行,目的是直观地展示路网交通流量的时间或空间分布特性,辅助交通管理者了解和分析城市交通运行状况。

传统的交通流量可视化方法是在地图、图像上绘制箭头或流线来描述交通运行行为。Tobler W. R. 提出用带有宽度的箭头表示移动量的方向和大小,箭头的宽度与交通量成正比。随着 GPS 设备在城市中的广泛部署,收集城市大范围交通轨迹数据成为可能。Andrienko G. 等认为使用视觉分析工具对轨迹数据进行处理,可有效分析交通运动轨迹和交通量的流动模式,并设计了一种融合数据库处理、数据转换、交互式显示的可视化分析框架,用于分析大量轨迹数据。在流向图上,箭头表示轨迹移动的方向,箭头的粗细代表交通流量的大小,用颜色对轨迹数据进行路径聚类分析(见图 1)。刘谣杰通过截取百度地图的路况图片进行图像识别,获取道路流量数据及其地理信息,并利用 ST-DBSCAN 算法进行聚类分析,将流量空间簇通过颜色进行时空可视化(见图 2)。

目前,对交通流量的可视化显示方式主要是流向图、时空分布图。这两种可视化方法存在一定的局限:1) 由于路网的紧密性,流向图会造成不同道路的相互遮挡,不适合分析大范围高密度的路网数据;2) 时空分布图缺乏对路网地图的显示,缺少与城市路网的直接联系,无法准确判定流量的空间分



图 1 交通流量流向图

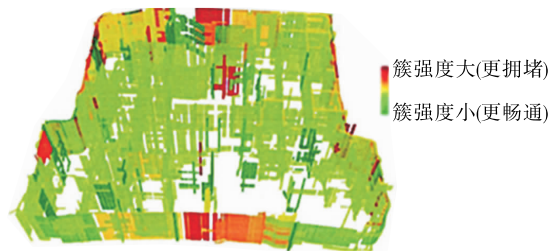


图 2 交通流量时空分布图

布特性。

2.2 速度分析

Wang Zuchao 等对 GPS 浮动车轨迹数据进行数据预处理,并根据设定好的交通拥堵阈值判断道路的交通运行状况,结合拥堵发生时间先后顺序和路网空间相关关系绘制城市全路网、某区域、某道路等范围的交通拥堵传播图。传播图借助信息卡片显示拥堵位置、时间、速度、传播途径、传播距离等信息[见图 3(a)]。任意选定路网的拥堵点,系统以像素图的形式显示该位置附近路段车速随时间的分布情况。图 3(b)、(c)为北京健翔桥的交通拥堵时间分布像素图,显示了该立交桥不同路径的拥堵时空分布情况。拥堵时间分布图共有 7 行 24 列,分别对应 1 周的 7 d 和 1 d 的 24 h,像素单元的颜色编码对应路段该时刻的车速大小。

对交通轨迹数据进行分析和处理,包括数据库转换、可视化展示、交互式动态过滤及聚类方法研究等。文献[33]、[34]对交通轨迹数据的可视化展示方式进行了多次研究和尝试,提出了交通导向视图(traffic-oriented view)和交通轨迹视图(trajec-tory-oriented view)两种描述轨迹数据的视图,同时采用马赛克图描述路网的速度变化特性[见图 4(a)]。马赛克图显示了一周中每日每时的速度时间分布情况,马赛克颜色的深浅程度表达路段速度的快慢。将马赛克图与地图进行匹配,可展示车速在路网的

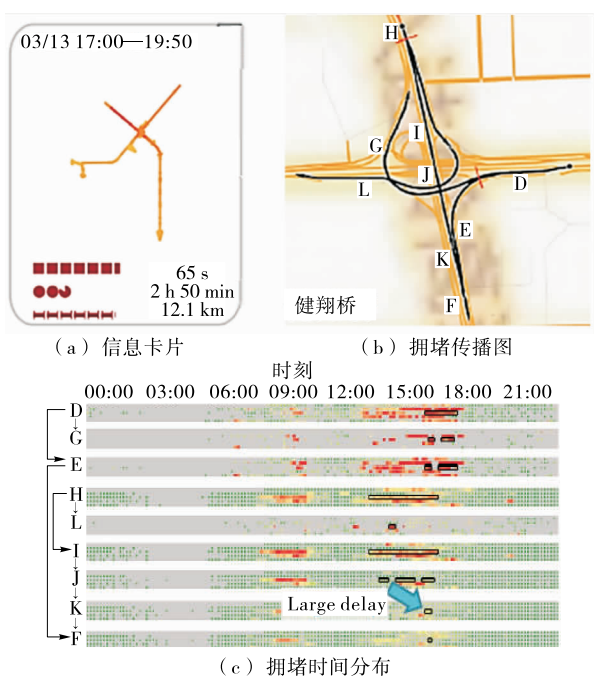


图3 拥堵时间分布像素图

空间分布特性。

文献[35]提出了一种基于二维/三维混合的交通可视化,使用时间条带图表示车辆行驶速度随时间的变化,利用色彩条带对不同轨迹的条带按照时间序列进行堆叠,以观察不同时空的交通运行状态[见图4(b)]。文献[36]对交通数据从时间(T)、空间(S)、属性值(A)3个维度进行处理,采用面向速度的时空聚集(S-T aggregation),利用地图上的时间查询环,结合时间透镜,显示一周中某日某时刻路网上交通量分布情况。

文献[37]同时考虑时间、空间因素完成了速度时空分布云图,用不同颜色代表不同速度值或速度区间,描述不同时间、不同位置的车辆速度状况[见图4(c)]。

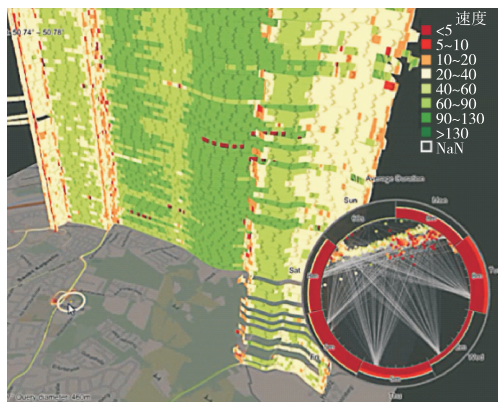
2.3 交通状态分析

文献[38]对不同时刻的交通拥堵状态进行空间分析,按照时间顺序把交通状态的变化过程以色带的形式动态表达在地图上,分析城市交通状态信息随时间推移呈现的分布规律[见图5(a)]。刘杰综合考虑交通状态的时空关联性,提出了添加调节项的高阶多变量马尔科夫模型,分时段对交通运行状态进行预测,并将状态预测结果显示在地图上[见图5(b)]。从拥堵状态空间分布图上可观察工作日高峰时段缓行和拥堵路段明显多于畅通路段,拥堵严

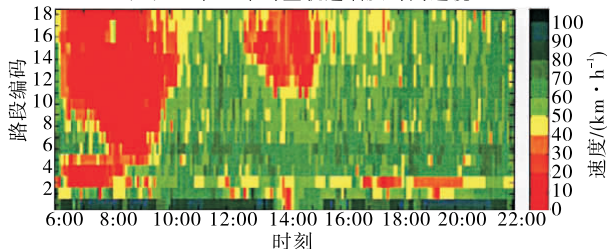
重路段也一目了然;而非工作日的拥堵分布不具有明显的高峰特性,反映出非工作日时间内人们的出行较分散。



(a) 城市不同区域不同时间的平均车速



(b) 二维/三维时空轨迹墙及时间透镜

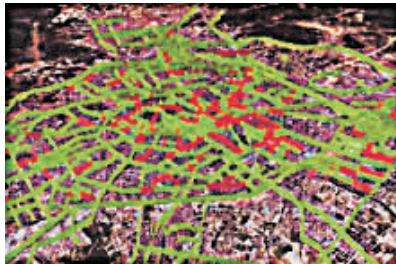


(c) 速度时空分布云图

图4 速度特性时空分布

目前,国内外对流量、速度可视化分析进行了大量研究,但对道路交通运行状态的模式可视化和交互式可视化探索相对较少。经过对大量文献的分析,发现二维可视化技术和表现手段研究最早,也是最成熟的交通可视化技术手段,目前主要借助二维图形进行交通运行状态可视化。但随着交通问题的日益突出和大数据时代的到来,三维可视分析技术日益兴起,它可更好地表达路网运行状态在时间和空间的连续性,且可视化范围从某条道路拓展到某个区域。交通领域可视化正将研究重心逐渐转向带有时空特性的三维领域,并与交互机制相结合,为处

理交通数据提供崭新途径。



(a) 交通状态空间分布



(b) 早高峰时段交通状态

图5 交通状态时空分布

3 研究趋势及面临的挑战

3.1 研究趋势

智能交通系统的发展大大促进了交通数据领域的进一步研究,可视化技术作为数据分析的有效手段也不断成熟与完善。面向世界数字化、信息化的发展趋势,传统的数据分析技术已不能满足交通领域的发展需求,许多经典的数据可视化图表、流向图、马赛克图等图形在应对大数据挑战时往往不能表达出令人满意的效果,庞大的交通数据需采用新颖、高效的可视化方式进行分析。交通可视化作为智能交通系统的重要组成部分,可解决传统数据分析手段无法应对的海量数据处理问题,充分发挥交通数据对交通规划、管理和运营的数据支持,为未来交通领域研究指明方向。

3.2 城市道路可视化分析面临的挑战

(1) 交通数据预处理。可视化技术的第一步就是对交通轨迹数据进行清洗、校对、融合等预处理,这也是数据分析时最耗时的部分。面对多源、海量、异构的交通数据,难免会存在信息缺失和数据错误等不同程度的问题,数据形式和内容不同也会对数据分析造成极大困难。目前还没有一种稳定的算法来分析这些问题,更多的是依靠分析人员对专业的了解和以往经验,势必会降低效率和准确率。将可

视化技术结合计算机的自动高效处理必不可少,然而目前这方面的工作还很薄弱。

(2) 交互式可视化探索。目前,可视化系统主要是对数据进行描述性和探讨性分析,主要反映交通特性的时空分布、交通拥堵行为等现象,这与解决实际问题相去甚远。在交通实际问题中,人们更多关注何时会发生交通拥堵、选择哪些路径可最快到达目的地、拥堵产生的原因是什么及多长时间拥堵会消散。

(3) 跨领域交流。交通可视化技术的应用是为解决交通领域的实际问题,可视化系统设计人员必须对交通领域问题有深入的理解和认识,可视化领域与交通领域的研究者需有长期的合作和充分沟通。而目前交通与可视化领域间的交流相对匮乏,可视化领域不能及时获知交通领域的功能需求,后者也不能很好地借助可视化方法和技术解决交通问题。可视化分析技术和交通领域更好地结合,共同探索解决当前交通实际问题,促进行业的共同发展,还需克服很多难题。

4 交通运行状态三维可视化应用展望

4.1 交通环境与可视化分析

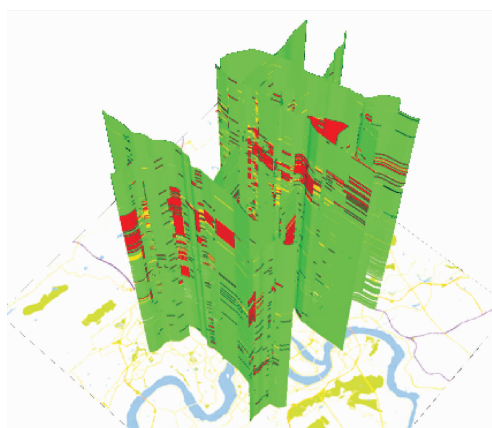
交通是一个人、车、路、环境协同合作的综合系统,交通运行有其特有的内在规律,不仅与道路自身条件有关,与路网中的交通行为、外界交通环境也有密切联系。结合三维可视化技术,构建工作日、周末、节假日、恶劣天气等典型情境下基于时间、空间及速度、流量等交通参数的交通状态图谱库,可为分析交通时空运行规律、预判交通发展态势提供可靠的理论依据。

4.2 三维可视化分析思路

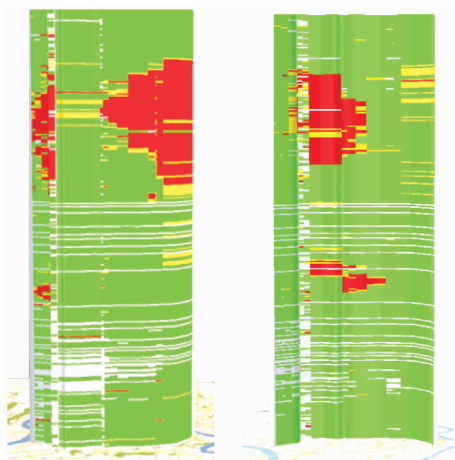
借助交通流基础理论和可视化技术设计交通可视化分析平台,提供一种堆叠交通状态墙的三维可视化方法。每个时刻的路网运行状态对应一条状态墙色带,按照时间自下往上堆叠,显示交通运行状态的时空变化规律。将拓扑路网、电子地图等作为底图,用颜色区分属性值的大小,有利于确定拥堵源位置和推断交通拥堵形成机理。

选取2016年10月28日(天气阴,周五)重庆市主城区快速路24h交通状态数据,以5min为时间间隔粒度,从00:00:00时刻开始,由下往上依次构建交通运行状态时空分布图[见图6(a)],其中红色、黄色、绿色分别表示交通运行的拥堵、缓行、畅通

状态,灰色表示数据缺失。借助选择性可视功能,从中筛选机场路上行(交通流方向由西向东)、下行(交通流方向由东向西)的交通流运行状态[见图6(b)]。结合交通运行状态图,可定性分析机场路交通状态的时空分布情况、最大拥堵排队长度、拥堵产生和消散的时间和地点、交通拥堵蔓延和消散的演变规律等交通信息。



(a) 主城区快速路交通状态



(b) 机场路上行、下行交通状态

图6 重庆市交通状态时空分布示例

5 结语

近年来,在大数据的推动下,可视化分析技术成为智能交通系统新的研究热点。该文简要介绍了交通运行可视化技术的研究现状、代表应用和最新研究趋势,提出了基于三维可视化技术和交互式操作的新思路来探索交通拥堵特性的时空演化规律。交通可视化领域正处于快速发展阶段,未来将数据挖掘方法和可视化技术结合,可使交通可视化研究在深度和广度上得到进一步拓展。交通可视化领域尚存在一些问题和挑战,需进一步研究和分析。

参考文献:

- [1] China's epic traffic jam, stretching over 100 km, 'vanishes'. 2010[EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/3f09314ffe4733687e21aa12.html>, 2010-11-02.
- [2] 高德荃.城市道路交通状态数据模式分析研究[D].武汉:武汉大学,2009.
- [3] 徐孟超.浅谈国内外三维可视化发展及其应用[J].现代测绘,2012,35(6).
- [4] 贾侃.基于数据挖掘技术的交通信息处理与分析系统[D].济南:山东师范大学,2005.
- [5] 杨彦波,刘滨,祁明月.信息可视化研究综述[J].河北科技大学学报,2014,35(1).
- [6] 朱耀华,郝文宁,陈刚.可视化技术简述[J].电脑知识与技术,2012,8(6).
- [7] Ware C. Information visualization perception for design[M]. Morgan Kaufmann; Morgan Kaufmann Publisher, 2004.
- [8] 姜晓睿,田亚,蒋莉,等.城市道路交通数据可视化分析综述[J].中国图象图形学报,2015,20(4).
- [9] 朱超.城市路网交通状态判别及可视化研究[D].杭州:浙江工业大学,2014.
- [10] 何贤国.出租车GPS大数据可视化研究[D].杭州:浙江工业大学,2014.
- [11] Thomas J J, Cook K A. Illuminating the path: the research and development agenda for visual analytics[M]. Los Alamitos: National Visualization and Analytics Ctr, 2005.
- [12] 邱晓宇.基于GIS的居民出行数据可视化分析系统研究[D].北京:北京建筑大学,2013.
- [13] Scheepens R, Willems N, van de Wetering H, et al. Interactive visualization of multivariate trajectory data with density maps[A]. The 2011 IEEE Pacific Visualization Symposium[C], 2011.
- [14] Willems N, van de Wetering H, van Wijk J J. Visualization of vessel movements[J]. Eurographics, 2009, 28(3).
- [15] Torsten Hägerstrand. What about people in regional science[J]. Papers in Regional Science, 1970, 24(1).
- [16] Kraak M J. The space-time cube revisited from ageo-visualization perspective[A]. The 21st International Cartographic Conference[C], 2008.
- [17] Andrienko N, Andrienko G, Gatalsky P. Visual data exploration using space-time cube[A]. The 21st International Cartographic Conference[C], 2003.
- [18] Guo H, Wang Z, Yu B, et al. Tripvista: triple perspective visual trajectory analytics and its application on microscopic traffic data at a road intersection[A].

- IEEE Pacific Visualization Symposium[C].2011.
- [19] 王祖超,袁晓如.轨迹数据可视分析研究[J].计算机辅助设计与图形学报,2015,27(1).
- [20] 于春全,郭敏,梁玉庆.关于建立城市道路交通运行状况宏观评价系统的研究[J].道路交通与安全,2007,7(1).
- [21] 刘张.城市交通运行状态分析与预测关键技术研究[D].成都:电子科技大学,2010.
- [22] 杨洪.城市交通动态研判应用技术研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [23] Herman R,Prigogine I.A two-fluid approach to town traffic[J].Science,1979,204.
- [24] 王璇,翁小雄.基于模糊C均值聚类的快速路交通流相态划分[J].交通信息与安全,2009,27(1).
- [25] 张心哲,关伟.城市快速路路段交通流状态评估方法[J].北京交通大学学报,2009,33(6).
- [26] 陈艳艳,张爱霞,刘晓明,等.交通运行状态可靠性评价方法综述及展望[J].公路,2001(10).
- [27] Vasiliev I R.Mapping time, monograph 49[J].Cartographica,1997,34(2).
- [28] Tobler W R.Experiments in migration mapping by computer[J].Cartography and Geographic Information Science,1987,14(2).
- [29] Tobler W,Geographer.Display and analysis of migration tables[EB/OL].http://www.doc88.com/p-7028966886095.html.
- [30] Andrienko G, Andrienko N, Wrobel S. Visual analytics tools for analysis of movement data[J].ACM SIGKDD Explorations Newsletter,2007,9(2).
- [31] 刘瑶杰.基于实时路况的交通拥堵时空聚类分析[D].北京:首都师范大学,2014.
- [32] Wang Zuchao, Lu Min,Xiaoru Yuan, et al. Visual traffic jam analysis based on trajectory data[J].IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,2013,19(12).
- [33] Jo Wood, Aidan Slingsby, Jason Dykes. Using treemaps for variable selection in spatio-temporal visualization[J].Information Visualization,2008,7(3-4).
- [34] Andrienko G, Andrienko N, Bremm S, et al. Space-in-time and time-in-space self-organizing maps for exploring spatiotemporal patterns[J].Computer Graphics Forum,2010,29(3).
- [35] Tominski C,Schumann H, Andrienko G, et al.Stacking-based visualization of trajectory attribute data[J].IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,2012,18(12).
- [36] Gennady Andrienko, Natalia Andrienko. Spatio-temporal aggregation for visual analysis of movements[J].IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology,2008,30(1).
- [37] 张凡.典型交通事件下道路拥堵的网络化蔓延特性研究[D].北京:北京交通大学,2014.
- [38] 苟锡荣.基于浮动车的城市交通状态时空分布规律研究[D].昆明:昆明理工大学,2013.

收稿日期:2017-08-22

关于假冒杂志网站和邮箱的声明

目前互联网上出现以《公路与汽运》杂志名义建立的官方网站和投稿邮箱,它们盗用“公路与汽运”的名称,非法向外征稿并收取审稿费、版面费,严重损害了本刊的权益和声誉。为避免广大作者和读者上当受骗,本刊郑重声明:

1. 本刊没有官网,也从未以任何方式授权其他单位和个人在互联网上建立网站,互联网上以“公路与汽运”名义建立的网站都是假冒的,此类网站上发布的信息及由此造成的一切后果均与本刊无关。

2. 本刊唯一的投稿邮箱是 gongluyuqiyun@163.com,除此之外的任何以本刊名义设立的邮箱都是假冒的。本刊目前没有收取审稿费。

3. 本刊强烈谴责这种假冒《公路与汽运》杂志名义、损害本刊和作者、读者权益的违法行为,并保留依法追究其法律责任的权利。

特此声明。