

# 基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型设计

王克铸

六安职业技术学院 经济管理学院,安徽 六安 237000

**摘要:**为解决传统物流车辆位置追溯模型存在信息转发限制、追溯时产生较大距离误差的问题,设计基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型。将物流车辆所在空间整合为1个空间集合,确定物流车辆的分形盒子维数参数,采用两跳机制处理物流车辆的位置数据信息,将同步位置信息发送至处理基站,并转化数据包原有的转发限制,设定车辆位置更新流程,定义多重分形谱偏斜度,构建位置追溯模型。分别采用传统的基于微型电子机械系统(micro-electro mechanical system, MEMS)传感器的物流车辆位置及姿态追溯模型、基于轻量化图像分割的物流车辆特征定位模型及基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型进行物流车辆位置追溯对比试验。结果表明:与传统的追溯模型相比,基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型可正确匹配的物流车辆位置点最多,溯源位置误差最小。基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型可为研究物流车辆追溯方法提供理论依据。

**关键词:**分形盒子维数;物流车辆;追溯模型;转发限制

**中图分类号:**U495

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2022)04-0047-07

**引用格式:**王克铸.基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型设计[J].山东交通学院学报,2022,30(4):47-53.

WANG Kezhu. The design of logistical vehicle location traceability model based on fractal box dimension [J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(4): 47-53.

## 0 引言

物流车辆位置追溯对物流信息管理至关重要,物流车辆位置追溯方法主要有基于微型电子机械系统(micro-electro mechanical system, MEMS)传感器的物流车辆位置及姿态追溯<sup>[1]</sup>和基于轻量化图像分割的物流车辆特征定位<sup>[2]</sup>。前者利用车载平台与物流中心联网分析车辆的实时状况,在物流运输过程中实现实时定位跟踪;后者采用多尺度的空洞卷积增加物流车辆特征信息,并在目标边缘分割和内部空洞填补后,利用最小外接四边形框定车辆位置。上述传统车辆位置追溯方法存在信息转发限制,导致追溯时产生较大的距离误差。

分形理论采用分数维度视角和数学方法描述外部客观事物,可突破物体时空维度的限制,描述客观事物的真实属性及状态<sup>[3-4]</sup>。采用盒计数的方式构建得到分形盒子维数,以覆盖目标图像表面的最小盒子数为度量标准,构建使用图像匹配的过程<sup>[5-6]</sup>。海洋研究领域研究者提出了分形方法,设定多种盒维数的相关系数,实现了对目标船舶的位置追溯<sup>[7]</sup>。

本文以物流车辆的不光滑和不规则的复杂结果为描述对象,分析物流车辆随机信号中存在的尺度不变性及相似性,以追踪随机信号的时间为追溯尺度,构建基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型,并设计模型框架测试其位置追溯性能。

**收稿日期:**2021-10-16

**基金项目:**安徽省教育厅高等职业教育创新发展行动计划项目(XM-06);安徽省高等学校省级质量工程项目(2020kfk535)

**作者简介:**王克铸(1979—),男,安徽六安人,工学硕士,主要研究方向为物流管理,E-mail:donghuilso@163.com。

# 1 物流车辆位置追溯模型设计

## 1.1 物流车辆的分形盒子维数参数

将固定范围内的所有物流车辆作为 1 个集合<sup>[8]</sup>,根据该集合占据的固定范围空间,将物流车辆所在空间记为  $U$ ,数值关系为:

$$|U| = \sup \{ |x - y| : x, y \in U \},$$

式中  $x, y$  为  $U$  内物流车辆点的坐标。

控制  $U$  内任意 2 车辆位置点间的距离为定值<sup>[9-10]</sup>,则具有分形覆盖特点的集合

$$F \subset \bigcup_{i=1}^{\infty} U_i,$$

式中  $i$  为集合的数量,  $U_i$  为分形覆盖集合。

在  $U_i$  中,分形测度

$$H_{\delta}(F) = \inf \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} |U_i| \right\}, \tag{1}$$

式中  $\delta$  为上确界参数。

对式(1)进行加权求和处理,得到  $U_i$  的上、下确界参数。以上、下确界参数作为物流车辆位置的信号特征,采用 Hurst 指数  $H$  描述分形特征的布朗运动粗糙性<sup>[11-12]</sup>,如图 1 所示。

形成分形特点后,固定极限数值为 0 或  $\infty$ ,将对应极限数值的物流车辆作为独立个体,针对不同属性的个体,定义其盒维数

$$\dim_B F = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\lg N(r, F)}{-\lg r}, \tag{2}$$

式中  $r$  为物流车辆的最大路径,  $N$  为经验函数。

定义计盒维数

$$\overline{\dim}_B F = \overline{\lim}_{r \rightarrow \infty} \frac{\lg N(r, F)}{-\lg r}. \tag{3}$$

当式(2)(3)中的盒维数与计盒维数相等时,将  $F$  作为物流车辆的盒子维数。单一的物流车辆特征无法精确地显示位置信息<sup>[13-15]</sup>。因此,为了增强分形盒子函数的特征提取量,将确定得到的分形特征划分为不同区域,根据不同区域设定 1 个位置约束条件,以约束条件内的标度指标作为物流车辆位置参数,整合参数为 1 个分形测度集合,将集中程度大的数值作为物流车辆的位置点,形成 1 个位置测度规则<sup>[16-18]</sup>。以得到的物流车辆的分形盒子维数参数作为处理对象,设定物流车辆位置更新流程。

## 1.2 物流车辆位置更新流程

以物流车辆的分形盒子维数参数对应的位置点作为处理对象,整合参数为 1 个物流车辆数据库后,结合物流车辆所在的区域网,采用群组的方式,设定物流车辆位置更新流程如图 2 所示。

由图 2 可知:物流车辆位置在移动过程中,更新流程不断汇报车辆的位置信息,当车辆触发分形盒子维数参数条件时,形成 1 个固定的位置更新策略,同时在网络环境的参与下,将物流车辆的位置发送给服务器<sup>[19-20]</sup>。

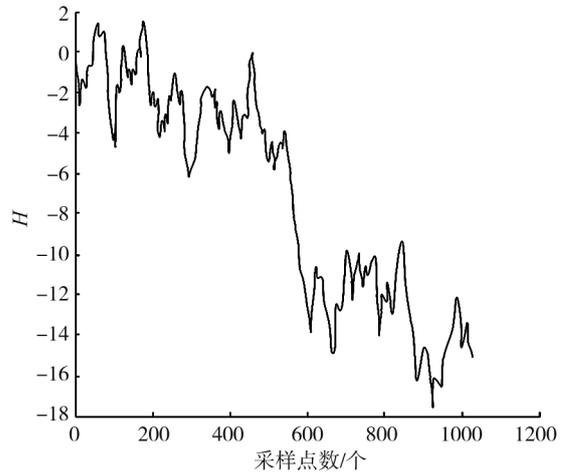


图 1 分形特征的布朗运动粗糙性

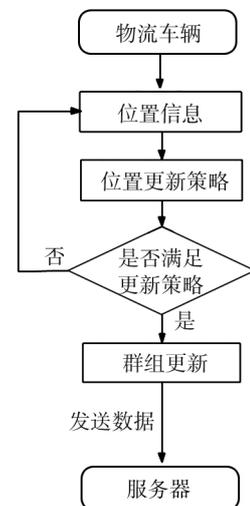


图 2 物流车辆位置更新流程

在物流车辆位置更新流程中,将设定的分形盒子维数参数作为距离阈值,将物流车辆作为1个移动对象,假设车辆的触发更新距离阈值为 $\alpha$ ,物流车辆有效范围

$$\beta = \frac{\alpha - m}{\alpha + m},$$

式中 $m$ 为更新参数。

在实际的距离更新过程中,需要频繁地更新物流车辆的位置信息<sup>[21-22]</sup>。因此,以物流车辆的速度为计算对象,计算服务器周期内接收到的车辆行驶距离

$$S = \frac{tv}{v + v'},$$

式中: $t$ 为物流车辆的行驶时间, $v$ 为统计周期内物流车辆的行驶速度, $v'$ 为前一个行驶周期内物流车辆的行驶速度。

采用两跳机制将 $D$ 发送给处理端口时,同步位置信息至处理基站,消除数据包转发限制而产生的位置误差<sup>[23]</sup>。或结合物流车辆的行驶条件,根据分形盒子维数的上、下确界参数,确定物流车辆的行驶速度,实现物流车辆的位置更新。在设定的物流车辆位置更新流程下,综合物流车辆行驶的路线,构建位置追溯模型。

### 1.3 追溯模型

采用车辆追踪技术,确定当前周期的位置信息后,将其作为物流车辆位置的监测对象,为维持物流车辆位置信号的稳定,定义多重分形谱偏斜度作为位置信号的稳定参数,计算公式为:

$$K = \frac{\tau_0 - \tau_{\min}}{\tau_{\max} - \tau_0}, \quad (4)$$

式中: $K$ 为信号分形谱顶点的偏斜度, $\tau_0$ 为车辆位置信号的波动参数化, $\tau_{\min}$ 为最小奇异数, $\tau_{\max}$ 为最大奇异数。

将 $K$ 作为约束值,保持位置信号的稳定。整合物流车辆行驶的路网后,构建物流车辆位置追溯模型如图3所示。

图3中采用计数器对物流车辆行驶过的路网进行分区,设定路网区域数量阈值后,将处理后的路网作为1个拓扑网络,根据实体间的邻接关系,采用加权拓扑关系匹配算法构建1个位置追溯候选区。将候选区内的权重从小到大排列处理后作为位置追溯顺序。为了消除追溯过程中产生的复杂度,在整合的路网中采用概率统计法构建物流车辆位置推算方法,将概率最大的路径作为追溯路径<sup>[24-25]</sup>。为了消除物流车辆产生的偏离原始数值现象,在概率统计计算过程中,将式(4)中的 $K$ 作为约束值,控制追溯位置点产生的偏离数值,完成对基于分形盒子维数的物流车辆位置追溯模型的设计。

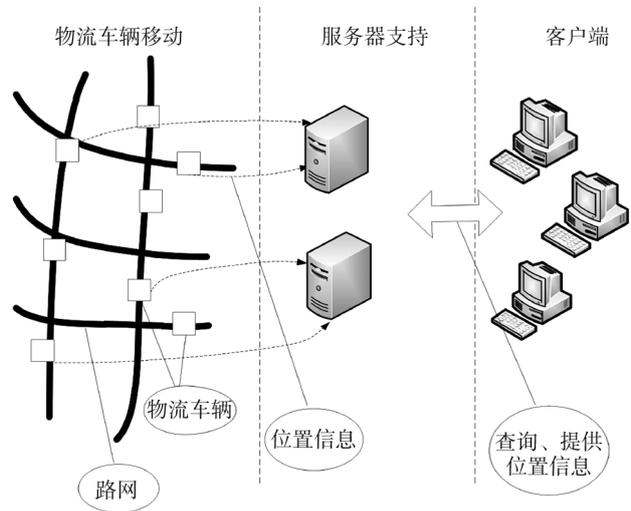


图3 物流车辆位置追溯模型

## 2 仿真试验

### 2.1 准备

收集物流车辆的位置数据并匹配对应的模型算法,设计测试模型框架验证模型的性能,测试模型框架如图4所示。

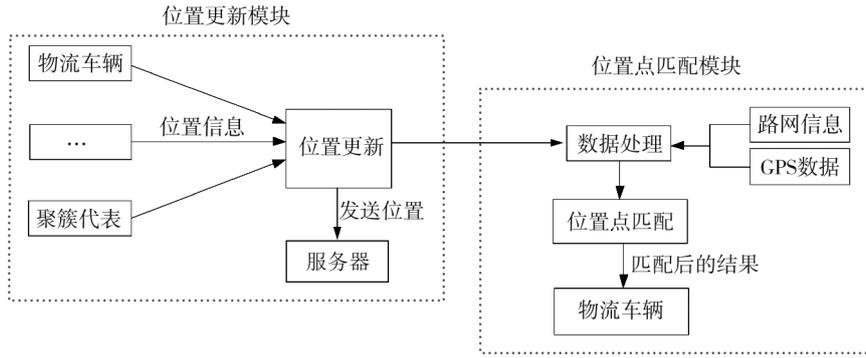


图4 测试模型框架

物流车辆位置追溯模型需要计算机技术的支持,在图4中,采用Java编程语言,使用6GB内存的Inter(R)Core(TM)i7作为模型搭载硬件,通过开发工具Eclipse开发模型数据。设定物流车辆位置移动的数据文件,文件命名为WLCL-xx,xx对应不同车辆的编号。

将设定的物流车辆位置移动数据文件作为试验对象,传输到测试模型框架中的服务器,分别采用传统的基于MEMS传感器的物流车辆位置及姿态追溯方案(模型1)、基于轻量化图像分割的物流车辆特征定位方案(模型2)及本文模型进行试验,对比3种模型的实际应用性能。

2.2 结果及分析

假设物流网络中有w辆车,模型位置追溯到n个移动对象,构建位置追溯模型的位置变化参数

$$p = \frac{n}{w} \times 100\%$$

p越大,表明位置追溯模型更新的物流车辆位置信息较为明显。以物流车辆位置移动数据作为模型处理对象,3种位置追溯模型的p如表1所示。

表1 3种位置追溯模型的p

文件名称	p/%			文件名称	p/%			文件名称	p/%		
	模型1	模型2	本文模型		模型1	模型2	本文模型		模型1	模型2	本文模型
WLCL-01.txt	43.1	63.4	81.2	WLCL-06.txt	48.4	60.5	84.6	WLCL-11.txt	49.7	79.5	83.4
WLCL-02.txt	48.1	66.7	81.5	WLCL-07.txt	46.9	63.7	82.5	WLCL-12.txt	42.4	75.1	80.5
WLCL-03.txt	43.8	66.2	80.9	WLCL-08.txt	43.4	68.1	80.2	WLCL-13.txt	42.6	66.8	82.7
WLCL-04.txt	42.7	79.8	83.1	WLCL-09.txt	40.5	61.5	83.9	WLCL-14.txt	49.3	62.2	81.5
WLCL-05.txt	45.6	64.2	81.8	WLCL-10.txt	46.4	77.1	84.6	WLCL-15.txt	49.3	75.7	84.6

由表1可知:针对相同位置数据集的文件,3种追溯模型的位置变化参数不同,模型1的平均位置变化参数为45.4%,在3种模型中最小,表明物流车辆在移动过程中,模型1更新的位置信息较少,更新优化效果较差;模型2的平均位置变化参数为68.7%,在3种模型中较大,表明模型2实际更新的物流车辆信息较多,模型2的更新优化效果较好;本文模型的平均位置变化参数为82.4%,在3种模型中最大,表明该位置追溯模型实际更新得到的车辆信息数据最多,本文模型的更新优化效果最明显。

调用物流车辆行驶的地图作为试验环境,采用位置与车辆的匹配准确度作为模型性能指标,匹配准确度

$$C = \frac{C_p}{C_n} \times 100\%$$

式中:C<sub>p</sub>为正确匹配到的物流位置点,C<sub>n</sub>为需要匹配的物流车辆数量。控制实际匹配的物流车辆位置信

息的匹配路径相同,3种位置追溯模型的匹配准确度如图5所示。

由图5可知:随车辆位置点数的增加,3种模型的匹配准确度均不断增大,在位置点数为10万个时,模型1、模型2和本文模型的匹配准确度分别约为85%、88%、95%,与2种传统模型相比,本文模型可正确匹配的物流车辆位置点最多。

控制3种位置追溯模型同时处理相同的位置文件,设定相同的物流车辆匹配路径后,定义模型运行返回值个数为0时,车辆位置产生了一定的误差,统计3种模型的返回值个数为0时,3种位置追溯模型产生的位置误差如表2所示。

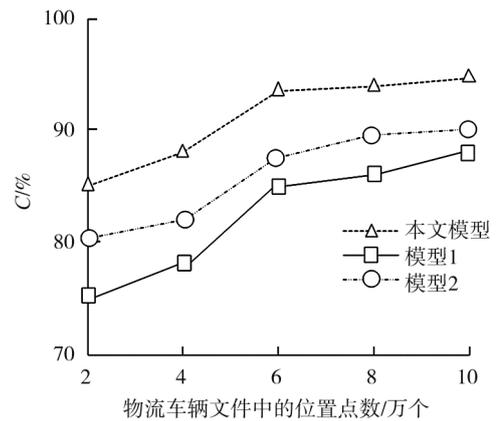


图5 3种位置追溯模型的匹配准确度

表2 3种位置追溯模型的位置误差

文件名称	位置误差/m			文件名称	位置误差/m			文件名称	位置误差/m		
	模型1	模型2	本文模型		模型1	模型2	本文模型		模型1	模型2	本文模型
WLCL-01.txt	191	131	88	WLCL-06.txt	197	139	53	WLCL-11.txt	180	136	83
WLCL-02.txt	182	134	82	WLCL-07.txt	189	143	62	WLCL-12.txt	193	120	62
WLCL-03.txt	186	130	68	WLCL-08.txt	185	141	92	WLCL-13.txt	195	131	82
WLCL-04.txt	190	143	85	WLCL-09.txt	187	132	99	WLCL-14.txt	185	139	75
WLCL-05.txt	187	132	83	WLCL-10.txt	194	129	63	WLCL-15.txt	188	122	86

由表2可知:在设定相同的车辆位置路径后,3种位置追溯模型表现出不同的位置误差,模型1、模型2、本文模型产生的位置误差分别为180~200、120~150、60~100 m,本文模型实际追溯物流车辆的位置最精确。

### 3 结语

随着电商购物方式的兴盛,物流行业实现了迅速发展,在大数据等技术的支持下,追踪物流车辆位置成为物流行业的研究热点。本文使用分形盒子维数作为算法支持,设计了物流车辆位置追溯模型,改善了传统物流车辆位置追溯模型中位置误差较大的问题,为今后研究物流车辆追溯方法提供了研究方向。但本文未详细介绍分形盒子维数与位置追溯模型的融合原理,还需不断地研究改进。

#### 参考文献:

[1] 王志伟,许江淳,李玉惠,等. 基于MEMS传感器的物流车辆位置及姿态追溯系统设计[J]. 软件,2017,38(9):23-27.  
 WANG Zhiwei, XU Jiangchun, LI Yuhui, et al. Design of vehicle terminal and vehicle rollover warning system based on MEMS sensor[J]. Computer Engineering & Software,2017,38(9):23-27.

[2] 张焯,樊一超,许艇,等. 基于轻量化图像分割的物流车辆特征定位研究[J]. 浙江工业大学学报,2020,48(4):426-434.  
 ZHANG Ye, FAN Yichao, XU Ting, et al. Research on location of logistics vehicles based on light image segmentation[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2020,48(4):426-434.

[3] 高策,褚端峰,何书贤,等. 基于卡尔曼-高斯联合滤波的车辆位置跟踪[J]. 交通信息与安全,2020,38(1):76-83.  
 GAO Ce, CHU Duanfeng, HE Shuxian, et al. Vehicle position tracking based on joint Kalman-Gaussian filter[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2020, 38(1):76-83.

- [4] 郝群茹,潘帅.基于禁忌搜索算法的物流系统车辆路径优化[J].科学技术与工程,2019,19(34):401-407.  
HAO Qunru, PAN Shuai. Vehicle routing optimization of logistics system based on tabu search algorithm[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(34):401-407.
- [5] 冯宇航,王建,蔡尧,等.基于多地磁传感器的车辆位置检测系统设计[J].传感器与微系统,2019,38(3):79-81.  
FENG Yuhang, WANG Jian, CAI Yao, et al. Design of vehicle position detection system based on multiple geomagnetic sensors[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2019, 38(3):79-81.
- [6] 许力分,倪志伟,朱旭辉,等.融合基于MapReduce并行改进二元蚁群算法与分形维数的属性选择方法[J].系统科学与数学,2019,39(6):918-933.  
XU Lifen, NI Zhiwei, ZHU Xuhui, et al. Attribute selection method combined with MapReduce-based improved BACO and fractal dimension[J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2019, 39(6):918-933.
- [7] 刘泉菲,赵彬彬,周凯.基于分形维数的多尺度面目标匹配对相似性度量[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2018,15(3):1-7.  
LIU Quanfei, ZHAO Binbin, ZHOU Kai. Multi-scale polygon entities matched pairs' similarity measuring based on fractal dimension[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology(Natural Science), 2018, 15(3):1-7.
- [8] 杨树国,李春霞.一类整车物流问题优化模型的研究[J].数学的实践与认识,2018,48(12):11-19.  
YANG Shuguo, LI Chunxia. Research on a kind of optimization model of vehicle logistics problem[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2018, 48(12):11-19.
- [9] 杨扬,石相团.基于区块链技术的“澜湄区域”跨境物流运作模型设计[J].科技管理研究,2020,40(5):139-145.  
YANG Yang, SHI Xiangtuan. Design of cross-border logistics operation model in "Lanmei Cooperation Area" based on block chain[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(5):139-145.
- [10] 王绍光.实际约束条件下多配送中心物流车辆调度优化[J].科学技术与工程,2018,18(36):216-220.  
WANG Shaoguang. Optimization of logistic scheduling for multi distribution centers under practical constraints[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(36):216-220.
- [11] 陈玉莲,王涛.集送一体化电动物流车辆动态调度研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(5):25-31.  
CHEN Yulian, WANG Tao. Dynamic scheduling for electric logistics vehicle of integrated delivery and pickup[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Sciences), 2020, 39(5):25-31.
- [12] 谭永丽.基于智能定位技术的无人物流车辆智能监控系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(3):89-92.  
TAN Yongli. Design of intelligent monitoring system for unmanned logistics vehicle based on intelligent positioning technology[J]. Computer Measurement & Control, 2020, 28(3):89-92.
- [13] 邵鹤帅.北斗定位与OBD诊断的车辆状态远程监控终端[J].单片机与嵌入式系统应用,2020,20(12):28-30.  
SHAO Heshuai. Design of vehicle condition remote monitoring terminal based on Beidou positioning and OBD diagnosis technology[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2020, 20(12):28-30.
- [14] 胡江虹.冷链物流车辆状态远程监控装置设计[J].微型电脑应用,2020,36(11):133-136.  
HU Jianghong. Design of remote monitoring device for cold chain logistics vehicle status[J]. Microcomputer Applications, 2020, 36(11):133-136.
- [15] 厉庭华,杨庆华,屠晓伟,等.基于仓储物流环境的无人叉车室内定位系统研究[J].自动化仪表,2019,40(2):39-43.  
LI Tinghua, YANG Qinghua, TU Xiaowei, et al. Research on unmanned forklift indoor positioning system based on warehouse logistics environment[J]. Process Automation Instrumentation, 2019, 40(2):39-43.
- [16] 张颖.基于曲线拟合的物流仓储自动导引车远程定位算法[J].自动化与仪器仪表,2020(12):119-123.  
ZHANG Ying. A long-distance positioning algorithm of logistics storage AGV based on curve fitting[J]. Automation & Instrumentation, 2020(12):119-123.
- [17] 靳文舟,朱子轩,巫威眺,等.联合配送外包策略的定位运输问题[J].中山大学学报(自然科学版),2020,59(4):89-97.  
JIN Wenzhou, ZHU Zixuan, WU Weitiao, et al. Location routing problem with outsourcing strategy[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2020, 59(4):89-97.
- [18] 刘红星,胡广地,朱晓媛,等.改进协方差矩阵的智能车视觉目标跟踪方法[J].计算机工程与应用,2019,55(3):171-178.

- LIU Hongxing, HU Guangdi, ZHU Xiaoyuan, et al. Vision target tracking method of intelligent vehicle based on improved covariance matrices[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(3):171-178.
- [19] 左黎明, 易传佳, 陈艺琳. 铁路物流中基于短签名的实时跟踪协议[J]. 华东交通大学学报, 2019, 36(5):67-73.
- ZUO Liming, YI Chuanjia, CHEN Yilin. Real-time tracking protocol based on short signature in railway logistics[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2019, 36(5):67-73.
- [20] 李佳, 靳向宇. 智慧物流在我国对外贸易中的应用模式构建与展望[J]. 中国流通经济, 2019, 33(8):11-21.
- LI Jia, JIN Xiangyu. The construction and prospect of the application mode of smart logistics in China's foreign trade[J]. China Business and Market, 2019, 33(8):11-21.
- [21] JATHE N, LÜTJEN M, FREITAG M. Indoor positioning in car parks by using Wi-Fi Round-Trip-Time to support finished vehicle logistics on port terminals[C]//IFAC-PapersOnLine. Berlin, Germany:IFAC MIM, 2019, 52(13):857-862.
- [22] KIM T, PARK T H. Extended Kalmanfilter (EKF) design for vehicle position tracking using reliability function of radar and lidar[J]. Sensors, 2020, 20(15):4126-4131.
- [23] BREMBECK J. Nonlinear constrained moving horizon estimation applied to vehicle position estimation[J]. Sensors, 2019, 19(10):2276-2283.
- [24] KIM K W, IM J H, HEO M B, et al. Precise vehicle position and heading estimation using a binary road marking map[J]. Journal of Sensors, 2019, 19(1):1-18.
- [25] CHAABANE A, MONTECINOS J, OUHIMMOU M, et al. Vehicle routing problem for reverse logistics of End-of-Life Vehicles (ELVs)[J]. Waste Management, 2020, 120(1):209-220.

## The design of logistical vehicle location traceability model based on fractal box dimension

WANG Kezhu

*School of Economics and Management, Lu'an Vocational Technical College, Lu'an 237000, China*

**Abstract:** In order to solve the problems of limited information forwarding and large distance error showing in traditional logistical vehicle position tracing model, the logistical vehicle position tracing model based on fractal box dimension is designed. The new model includes many activities such as: the spaces where logistical vehicles are located are integrated into one space set; and fractal box dimension parameters of logistical vehicles are determined; then the two-hop mechanism is used to process the positions data of logistical vehicles, after that, the synchronous positioning information is sent to the processing base station; and the original forwarding restriction of data packets is transformed, and the updated process of vehicle positions is set, and the skewing degree of multi-fractal spectrum is defined, and the position traceability model is built. In order to trace the positions of logistical vehicle, the comparative tests among logistical vehicle position tracing models, including the traditional micro-electro mechanical system (MEMS), lightweight image segmentation based logistical vehicle feature tracking model and fractal box dimension based logistical vehicle position tracking model, are done. The results show that the logistical vehicle positions tracing model based on fractal box dimension can correctly match the most logistical vehicle positions compared with the traditional traceability model, and the traceability position error is the least. The position tracing model of logistical vehicle based on fractal box dimension can provide theoretical basis for the research of logistical vehicle tracing methods.

**Keywords:** fractal box dimension; logistical vehicle; tracing model; forwarding limitation

(责任编辑:郭守真)