

# 集美区机动车路网复杂度评价分析

黄海南<sup>1</sup>, 张荣浩<sup>2</sup>, 张旺<sup>1</sup>, 岳小泉<sup>1</sup>, 徐锦强<sup>1</sup>

(1. 福建农林大学 交通与土木工程学院, 福建 福州 350002;

2. 厦门大学 嘉庚学院, 福建 厦门 363105)

**摘要:** 在对集美区总体及各片区道路进行拓扑化处理的基础上, 构建了机动车路网复杂度的评价指标, 运用 Ucinet 和 Pajek 等软件对集美区路网各指标进行了计算, 确定了其路网类型及特征。结果表明, 集美区路网类型较多样, 各区道路网发展差异性较大, 建议进行分区规划和总体控制。

**关键词:** 机动车路网; 复杂网络; 网络类型; 复杂度评价; 路网规划

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2018)01-0074-05

## Complexity evaluation and analysis of road network in Jimei District

HUANG Hainan<sup>1</sup>, ZHANG Rongjie<sup>2</sup>, ZHANG Wang<sup>1</sup>, YUE Xiaoquan<sup>1</sup>, XU Jinqiang<sup>1</sup>

(1. School of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Xiamen University Tan KahKee College, Xiamen 363105, China)

**Abstract:** Based on the topology construction of the road network of Jimei District and each of its areas, the complexity evaluation index of the vehicle road network was constructed. The indexes were calculated and analyzed with Ucinet and Pajek, and then the type and characteristics of the road network were determined. Results show that the types of the road network in Jimei District are diversified, with sharp differences in the development of each area. Therefore, zoning planning and overall control are recommended.

**Keywords:** vehicle road network; complex network; network type; complexity evaluation; network planning

复杂网络是将大量的数据真实反映出来的抽象系统, 能有效表征内部各因素的交互关系<sup>[1]</sup>。将城市道路作为复杂网络进行研究, 可有效分析路网的特点, 明确现状路网存在的问题, 以及未来路网建设应着重发展的方向。为了更好地规划集美区道路网, 研究以集美区路网的复杂度为切入点, 分析集美区总体及各片区路网的建设情况。

目前对路网复杂度的研究较多元, 高自友等通过研究城市公交网络的无标度特性和度分布指数甄别公交枢纽站点<sup>[2]</sup>。张勇等引入网络平均距离、节点度分布以及簇系数等概念, 研究了城市

路网映射后的复杂网络特征<sup>[3]</sup>。马杰等运用数据建模的方式对江苏省公路网络进行分析并评价其可靠性<sup>[4]</sup>。刘承良等运用复杂网络理论揭示了城乡道路网拓扑结构演化及复杂性“涌现”过程<sup>[5]</sup>。在复杂度指标分析及构建<sup>[6-8]</sup>、复杂网络应用<sup>[9-12]</sup>等方面还有很多的研究成果和结论, 这些成果为后续的研究提供了理论基础和实践案例。

研究采用对偶法构建集美区总体及各片区机动车路网, 选取了节点度及其分布、网络簇系数和平均路径距离作为路网复杂度评价指标, 并对网

收稿日期: 2017-09-10

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(JAT160167); 福建农林大学 2017 年科技创新专项基金(CXZX2017078)

第一作者简介: 黄海南(1983-), 男, 福建龙海人, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 交通大数据处理、分析及优化技术。



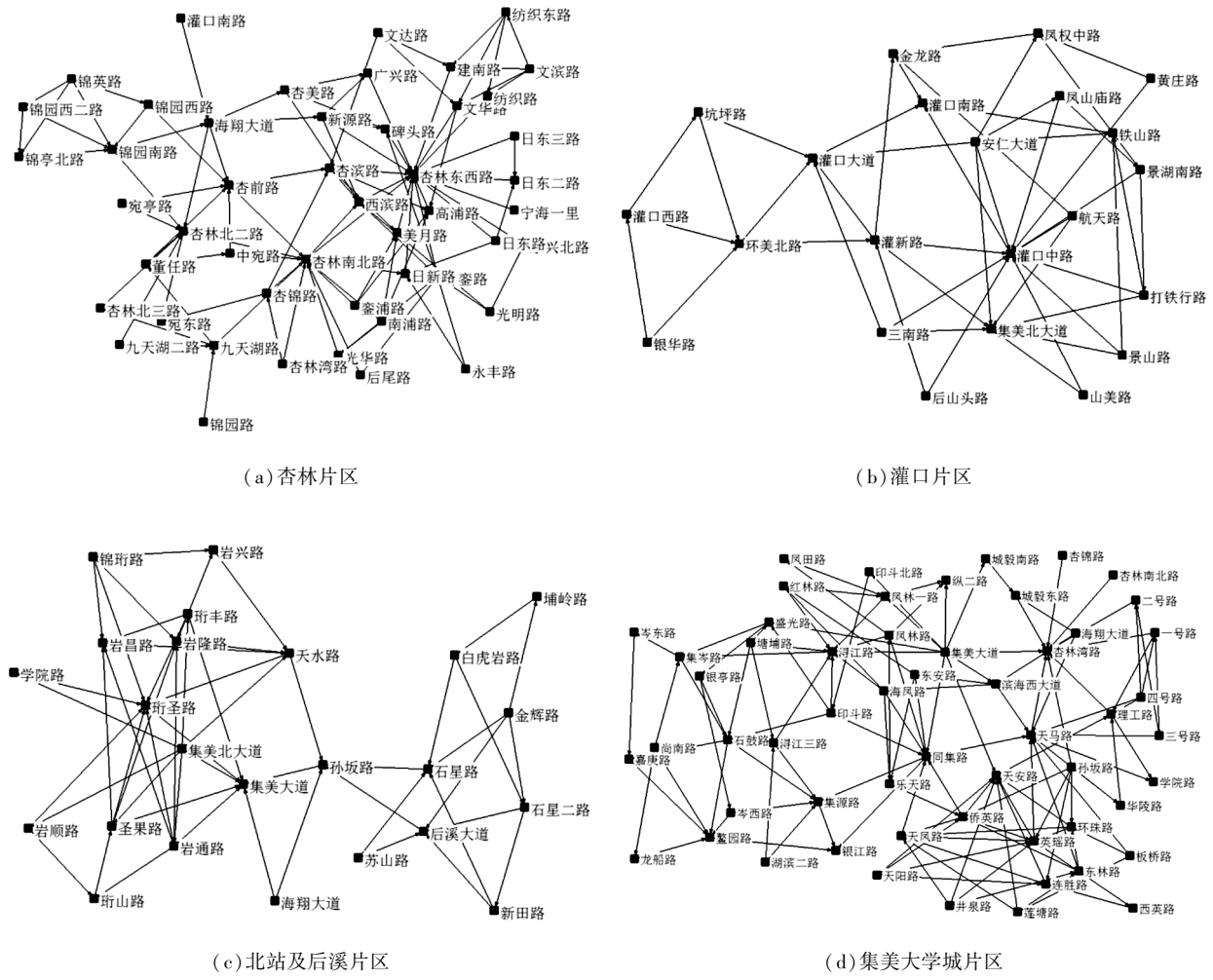


图 3 对偶法转换后的各片区拓扑网络

Fig.3 Topological network of the four areas converted by the dual method

## 2 机动车路网复杂度评价指标

随着城市机动车路网的不断变化,影响其复杂度的因素也越来越大。借鉴文献[1-3,6],选取以下 3 个指标作为复杂度计算的关键指标,分别为度和度分布、簇系数以及网络平均路径距离;同时根据这 3 个指标的计算结果及网络形态,确定不同网络类型的特征,作为后续网络分析的参考标准。

### 2.1 度和度分布

把对偶网络中节点的总邻边数称作度,第  $i$  个节点的度记为  $k_i$ ,其计算公式如下:

$$k_i = \sum a_{ij} \quad (1)$$

式中  $a_{ij}$  为网络邻接矩阵  $A$  中的元素,表示两个节点之间是否存在边。如果  $a_{ij} = 1$ ,则表示点  $i$  和点

$j$  存在边,反之用 0 表示。

平均节点度表示所有节点度的平均值,即为

$$\bar{k} = \frac{1}{N} \sum k_i \quad (2)$$

式中: $N$  为所有节点数的总和。

具有同样邻边数的节点的出现概率用分布函数  $P(k)$  表示

$$P(k) = N(k) / N \quad (3)$$

式中  $N(k)$  为所有度为  $k$  的节点个数的总和。

在对偶法转换的机动车路网中,度值反映了道路之间的连接情况,节点度越大说明该节点在网络中重要度越高。

### 2.2 簇系数

簇系数指的是某个节点与其所有相邻的节点间的实际连接数与可能连接最大数的比值。计算

公式如下:

$$C_i = E_i / \left( \frac{k_i(k_i - 1)}{2} \right) \quad (4)$$

式中  $C_i$  为第  $i$  个节点的簇系数;  $E_i$  为  $k_i$  个节点之间实际互连接数。

在对偶法转换的机动车路网中, 簇系数表示与某一条路相交的其他道路之间也互相相交的概率, 可反映出机动车路网的聚集程度。

### 2.3 平均路径距离

网络平均路径距离指所有节点之间的最短路径边数的平均值, 计算公式如下:

$$L = \sum_{i \neq j} \frac{2 L_{ij}}{N(N-1)} \quad (5)$$

式中  $L_{ij}$  为节点  $i$  到节点  $j$  所需要经过的最少边数。

在对偶法转换的机动车路网中, 网络平均路径距离体现了网络传输的效率, 平均路径距离越小的网络, 路网的可达性越好。

### 2.4 网络类型特征分析

根据各种路网的节点及其之间的边的连接方式的不同, 目前主要有 4 种网络类型: 随机网络、无标度网络、小世界网络和规则网络, 其主要特征见表 1 所示。路网类型能有效反应不同路网的结构特性<sup>[13]</sup>, 可为后期路网规划和优化提供特征量度依据。

表 1 网络类型及其主要特征

Tab.1 Network types and their main features

网络类型	度分布	标志	连接性	聚集性
随机网络	二项式分布	存在典型节点(连接数频率最高)	大多数节点连接数不相上下, 连接数偏多或偏少的节点较少	弱: 主导节点很少
无标度网络	幂指数分布	不存在典型节点, 但有集散点, 即存在中心和次中心, 其连接数占绝对优势	高度集中: 少数节点拥有绝大多数连接, 绝大多数节点只有较少连接	较强: 小型节点形成较大集团
小世界网络	双段幂律或指数分布	路径距离较小、簇系数较大	高度连接: 具有增长性, 即节点随着网络规模不断扩张	强: 存在偏好依附性, 出现社团结构
规则网络	Delta 分布	路径距离较大、簇系数较大	同一性: 任何一个节点的连接边数都相同	与网络形态相关

## 3 集美机动车路网复杂度评价分析

### 3.1 路网复杂度指标分析

运用 Ucinet 软件对集美区总体及分区拓扑网络进行计算, 获取各指标数据见表 2。

集美区总体机动车路网平均度为 4.672, 各道路范围节点度分布如图 4 所示。对各道路范围进行度分布拟合, 总体路网和集美大学城片区的拟合度较低, 杏林片区和灌口片区符合两种分布情况。

表 2 集美区及各片区路网复杂度指标

Tab.2 Complexity index of the vehicle road network in Jimei and its four areas

道路范围	节点数 $N$	边数 $M$	平均度 $\bar{k}$	簇系数 $C$	平均路径 距离 $L$	同等随机网络	
						簇系数 $C$	平均路径距离 $L$
总路网	134	626	4.672	0.094 ↑	3.271 ↓	0.038	3.391
杏林片区	48	200	4.167	0.133 ↑	2.182 ↓	0.089	2.746
灌口片区	22	92	4.182	0.120 ↓	1.750 ↓	0.220	2.232
北站后溪片区	24	106	4.417	0.065 ↓	1.774 ↓	0.199	2.239
集美大学城片区	56	258	4.607	0.076 ↓	2.464 ↓	0.079	2.746

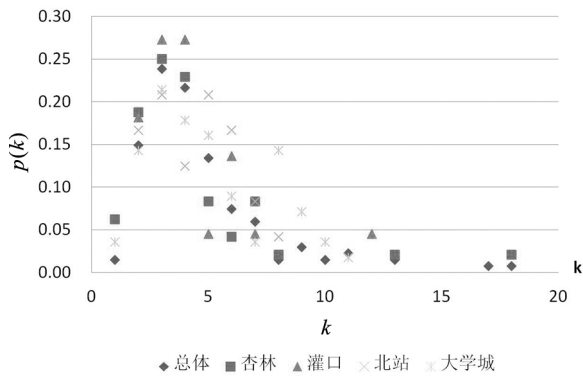


图 4 集美区路网节点度分布情况

Fig.4 Node degree distribution of Jimei's road network

集美区总体路网簇系数为 0.094,说明机动车路网聚集度不高,道路分布较为零散。灌口片区的后山头路、杏林片区的锦亭北路、北站后溪片区的海翔大道、集美大学城片区的龙船路及湖滨二路

的簇系数最高,说明这些道路在各片区中影响较大。

集美区机动车路网的平均路径距离  $L$  为 3.271,说明集美区任意两条道路大概经过 3 条其他道路可到达。而路网规模和覆盖范围较小的灌口片区和北站后溪片区的网络平均路径距离比其他两个片区小,反应了这两个片区的路网可达性较高。

### 3.2 集美区路网类型分析

根据统计分析获取的复杂度评价指标,对集美区不同范围路网度分布进行拟合,判定各范围路网类型。具体结果见表 3 所示。

集美区机动车总路网度分布拟合结果更接近于指数分布,网络平均距离小于同等规模随机网络的数值,且簇系数大于同等规模随机网络,符合小世界网络特征。同理,杏林片区路网也更接近小世界网络。

表 3 集美区路网类型分析及建议

Tab.3 Analysis of Jimei's road network types and suggestions

道路范围	度分布拟合函数	拟合度	路网类型	建议
总路网	$y=0.152 2e^{-0.174x}$	0.555 2	小世界网络	路网可达性已初步满足,后续应增加便捷通道,实现区域间快速到达
杏林片区	$y=0.729 2x^{-1.336}$	0.776 7	小世界网络	高度聚集的网络,应构建平行灌口中路的主次干道
灌口片区	$y=0.566 9x^{-1.053}$	0.531 2	无标度网络	路网连通度和可达性已初步满足
北站后溪片区	$y=-0.007 9x^2+0.058 5x+0.080 4$	0.732 6	随机网络	
集美大学城片区	$y=-0.003 5x^2+0.031 6x+0.073 7$	0.479 8	随机网络	

灌口片区绝大多数节点的度较少(多集中在 2~6),而灌口中路的度为 12,说明其路网连接性高度集中,同时其度分布接近幂指数分布,灌口片区网络平均距离小于同等随机网络,因此,灌口片区路网符合无标度网络特征。

北站后溪片区的簇系数小于相同规模的随机网络,而网络平均距离也小于同等随机网络,节点度分布拟合符合二项分布。集美大学城片区簇系数与同等的随机网络相差无几,且平均路径距离也接近同等随机网络。综上,北站后溪片区和集美大学城片区的路网类型更接近于随机网络。

综上所述,集美区总体及各片区路网类型较为多样,说明不同区域路网结构差别较大,在后续道路网规划及建设中应根据不同片区的路网特征

进行分区规划,同时对总体指标进行把控,优化路网密度及连接度,提高路网运行效率。

## 4 结束语

利用复杂网络研究集美区机动车路网的复杂度,建立评价指标并应用 Ucinet、Pajek 等软件进行计算分析,明确不同道路范围路网类型及其特点,为后续道路网规划及建设提供参考和建议。在后续研究中,可运用其他方法对路网进行转换,减少因为道路相同名称不同,或者名称相同道路走向不同引起的节点误差,同时也可考虑不同路段的交通量指标<sup>[14]</sup>,实现路网与实时路况的结合。

(下转第 90 页)

**参考文献:**

- [1] 刘俊波.冲突管理理论初探[J].国际论坛,2007,9(1):37-80.
- [2] 韩玉果.冲突与冲突管理研究综述[C].国际中华应用心理学研究会第五届学术年会论文集,2007.
- [3] 高峰.大型建设工程项目资源冲突机理及其管理方法研究[D].西安:西安建筑科技大学,2014.
- [4] 吴叶忠.工程项目团队的冲突管理研究[D].上海:上海交通大学,2009.
- [5] 王亚卓.工程项目团队内外部冲突问题研究[D].长春:吉林大学,2014.
- [6] 丁杰.我国建设工程项目中冲突的现状调研和分析[J].建筑经济,2012(2):16-19.
- [7] 杨其. Partnering 模式下工程项目冲突处理机制研究 [D].长沙:中南大学,2012.
- [8] 阮连法等.基于 Partnering 模式的建设工程项目冲突处理研究[J].施工技术,2008,37(2):15-18.
- [9] 仲崇坤. BOT 利益相关者的冲突管理研究 [D].兰州:兰州大学,2012.
- [10] 樊富珉,张翔.人际冲突与冲突管理研究综述[J].中国矿业大学学报,2003(3):82-91.
- [11] 孙磊,刘国买,叶晓琴.业主和监理单位之间的混合策略博弈研究[J].福建工程学院学报,2013,11(4):405-408.
- [12] 高欣.社会监理与业主方的项目管理[J].建设监理,1997(6):42-43.
- [13] 于顶成.提高监理素质是改善与业主关系关键[J].基建优化,2003,24(1):25-26.
- [14] 王洁,章恒全.水利工程中业主和监理博弈行为分析[J].工程管理学报,2016,30(1):71-76.
- [15] 槐先锋,王晓蕾.建筑工程项目业主与监理的信息不对称分析[J].建筑管理现代化,2004(5):45-47.
- [16] 任够平.关于正确处理业主和监理的思考[J].建设监理,2011(7):48-49.
- [17] 唐冰松.工程项目的分类及绩效影响定性分析[J].工程管理学报,2016,30(2):136-141.

(责任编辑:王圆圆)

(上接第 78 页)

**参考文献:**

- [1] 高自友,赵小梅,黄海军,等.复杂网络理论与城市交通系统复杂性问题的相关研究[J].交通运输系统工程与信息,2006,6(3):41-47.
- [2] 高自友,吴建军,毛保华,等.交通运输网络复杂性及其相关问题的研究[J].交通运输系统工程与信息,2005,5(2):79-84.
- [3] 张勇,杨晓光.城市路网的复杂网络特性及可靠性仿真分析[J].系统仿真学报,2008,20(2):464-467.
- [4] 马杰,曹祥,周旭辉.江苏省公路网络复杂性分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2011,3(2):158-163.
- [5] 刘承良,段德忠,余瑞林,等.武汉城市圈城乡道路网结构演化及复杂性研究[J].地理科学,2014,34(4):401-410.
- [6] 胡一竑.基于复杂网络的交通网络复杂性研究[D].上海:复旦大学,2008.
- [7] 刘建国,任卓明,郭强,等.复杂网络中节点重要性排序的研究进展[J].物理学报,2013,62(17):9-18.
- [8] 于会,刘尊,李勇军.基于多属性决策的复杂网络节点重要性综合评价方法[J].物理学报,2013,62(2):54-62.
- [9] 孙仁诚,邵峰晶.青岛市公交线路网络复杂性分析[J].复杂系统与复杂性科学,2009,6(3):63-68.
- [10] 周宏达,陈守刚,杨德刚.主城区公路网的复杂网络特征分析[J].成都大学学报(自然科学版),2009,28(4):342-345.
- [11] 刘志谦,宋瑞.基于复杂网络理论的广州轨道交通网络可靠性研究[J].交通运输系统工程与信息,2010,10(5):194-200.
- [12] 田庆飞.基于复杂网络理论的城市公交网络生成与优化研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [13] 许峰,毛钢,秦臻.复杂网络特征量度及典型网络模型分析[J].通信技术,2010,9(43):112-114.
- [14] 何兆成,庄立坚,杨文臣,等.基于大规模浮动车数据的城市道路网复杂度分析[J].公路交通科技,2013,30(6):120-126.

(特约编辑:黄家瑜)