



2010年交通运输类院校研究生学术论坛

暨科技创新论文集

《2010年交通运输类院校研究生学术论坛暨科技创新论文集》编委会 编

大连海事大学出版社

2010 年交通运输类院校 研究生学术论坛暨科技创新论文集

《2010 年交通运输类院校研究生学术
论坛暨科技创新论文集》编委会 编

大连海事大学出版社

© 《2010 年交通运输类院校研究生学术论坛暨科技创新论文集》编委会 2010

图书在版编目 (CIP) 数据

2010 年交通运输类院校研究生学术论坛暨科技创新论文集 / 《2010 年交通运输类院校研究生学术论坛暨科技创新论文集》编委会编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2010.7
ISBN 978-7-5632-2455-5

I. ①2… II. ①2… III. ①交通运输—研究生—文集 IV. ①U-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 124948 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连印刷三厂印装

大连海事大学出版社发行

2010 年 7 月第 1 版

2010 年 7 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 210 mm × 297 mm

印张: 44

字数: 1511 千

印数: 1~500 册

责任编辑: 姜建军

版式设计: 晓 江

封面设计: 王 艳

责任校对: 沈荣欣

ISBN 978-7-5632-2455-5

定价: 120.00 元

0050201

《2010 年交通运输类院校研究生 学术论坛暨科技创新论文集》

编 委 会

- 主 任: 黎启通 (民航局人事科教司司长)
- 副主任: 杨胜军 (民航局人事科教司副司长)
- 刘 欣 (天津市教育委员会副主任)
- 吴桐水 (中国民航大学校长)
- 孙玉清 (大连海事大学副校长)
- 委 员: 钱耿文 (民航局人事科教司培训教育处处长)
- 王群生 (天津市学位办主任)
- 于 剑 (中国民航大学校长助理)
- 祝世兴 (中国民航大学研究生部主任)
- 于洪亮 (大连海事大学研究生院常务副院长)

主 编: 吴桐水

副主编: 白 杰 吕宗平 孙玉清

编 委: (以姓氏笔画为序)

于 霞 于洪亮 孔朝霞 王凤武 王永刚 王立文 王志强

刘爱华 孙 冰 孙宏利 孙继湖 孙新宪 孙瑞山 孙毅刚

毕 胜 纪玉龙 闫 旭 闫国华 何松年 吴仁彪 张永庆

张献民 李 伟 李书明 杨忠振 杨新涅 陈世一 陈玉宝

孟丽艳 林建国 祝世兴 贺怀清 赵巍飞 徐 涛 徐建新

高庆吉 高洪涛 韩 萍 韩立新

序 言

交通运输业是国家经济发展的战略性行业以及先导性高技术产业，也是一国现代化、工业化、科学技术和综合国力的重要标志，其发达程度体现了国家的综合实力和现代化水平。新中国成立60余年来，我国交通运输系统坚持改革开放，依靠科技进步，高起点、大跨度推进交通运输事业发展，全国交通面貌发生了翻天覆地的变化，我国已成为名副其实的交通运输大国。

目前世界交通运输业正朝着高速化、大型化、专业化和网络化方向发展。交通运输方式的演变过程，与人类文明、社会进步、经济发展、科技创新有着密切的互动关系。交通运输业科技含量高、产业链条长，五大交通运输方式高度集成了大量先进科技，为相关领域的科技创新提供广阔空间。

当岁月光标飞掠2009跃入2010之时，中国民航大学、大连海事大学、北京交通大学、武汉理工大学，中国石油大学等14所交通运输类院校的161位研究生满怀激情相聚在祖国渤海之滨——天津，共同分享“2010年交通运输类院校研究生学术论坛”的快乐，并用他们的青春和智慧共同奉献了《2010年交通运输类院校研究生学术论坛暨科技创新论文集》。该论文集涉及交通运输规划与设施、载运工具理论与技术、交通安全与信息技术和综合与其他四个学术论文群，所收录论文涵盖了五大交通运输领域的最新科学研究成果，它的出版有利于促进不同交通运输门类学科群之间的交流与合作，推进交通运输科技领域创新和发展。

此次论坛共评选出优秀论文16篇，为进一步扩大交流与合作，实现成果共享，我们将此次参会的研究生的论文合集成册，公开出版。

此次研究生学术论坛活动得到了大连海事大学研究生院的鼎力相助，在此表示衷心的感谢！

长江后浪推前浪，一浪更比一浪高，祝我国交通运输科学技术发展更上一层楼，为人类的文明与进步做出新的贡献。

《2010年交通运输类院校研究生学术论坛暨科技创新论文集》编委会

2010年6月

目 录

交 通 运 输 规 划 与 设 施

基于改进拓扑度量法的城市轨道交通网络可达性分析.....	陈 涛 蒋 文 刘智丽 刘明君 毛保华(1)
铁路旅客运输服务网络特性研究.....	蒋 文 陈 涛 刘智丽 刘明君 毛保华(7)
突发性自然灾害导致机场停航的损失模型研究.....	高利平 冯 佳 李 超 许 奇 毛保华(12)
基于粒子群算法的动态泊位调度优化.....	陈天飞 黄行森 王文超(18)
我国集装箱码头经营模式优化研究.....	孙国东 陈 超(22)
中小型运输公司运力配备决策模型.....	张寅涛 杨华龙(26)
Superpave配合比设计在张石高速涞源段的应用.....	尚银川 杨春风 杜衍庆(30)
桥区限制性航道通过能力研究.....	陈 恺 李俊星 韩非非(37)
基于GM(1,1)模型的青岛港集装箱吞吐量预测及方法探究.....	段良波 寿建敏(41)
基于军民航分工的军航利用空域资源经济效益研究.....	朱中岳 李晓津(46)
刚性机场道面上加铺UTW的力学特性分析.....	王树芳 赵方冉 王 飞(50)
机场房屋隔音分析.....	张 青 闫国华(55)
机场刚性道面板边倒角的优点分析.....	王美玲 王 维(61)
基于低影响开发的飞行区水环境改善探讨.....	李 祚 赵方冉(67)
基于协整与Granger因果分析方法的中国民航与国民经济发展关系研究.....	吕 新 李晓津(71)
基于突变理论机场选址模型.....	杜茂维 冯雨佳 姜运亮(75)
加权马尔可夫链在跑道侵入事件预测中的应用.....	王 鑫 孙瑞山(81)
京津输油管道运行分析.....	朱志文(86)
京津塘管道优化运行研究.....	王 倩(89)
近距平行跑道配对离场时间窗模型研究.....	代晓旭 张兆宁 卢 飞(93)
空中交通流的若干模型.....	肖 彬 朱承元(98)
民航机场地面预警仿真系统.....	宋薇薇 赵巍飞 李 楠(103)
民用机场扩建工程投资控制研究.....	胡春飞(107)
厦门机场跑道容量评估及影响因素研究.....	王涛波(112)
以空间占有率评估机场航站楼服务质量的方法.....	吴亚平 王 维(117)

载 运 工 具 理 论 与 技 术

高负荷路网微循环组织仿真研究.....	杨远舟 钱 堃 冯旭杰 赵宇刚 彭宏勤(122)
处理船舶压载水中TRO检测及相关实验研究.....	华六三 白敏冬 杨宪立 范 丹(127)
船舶柴油主机遥控系统智能算法的仿真研究.....	易成珍 郭 晨(131)
船舶压载舱涂层海水腐蚀过程的电化学研究.....	付代良 王红涛(136)

船用柴油机铝活塞表面微弧氧化频率优化研究.....	彭俊杰 朱新河 严志军(140)
粗糙集理论及其在航海中应用展望.....	齐 壮 许 波 王振兴 杨柏丞 路其军(144)
电磁混合耦合滤波器的设计与实现.....	贾守礼 房少军 王钟葆(148)
滤光镜误差补偿研究.....	杨云翔(151)
海水液压焊接机器人模拟实验系统的研究.....	邱力强 宋春风(155)
一种基于单片机无线传感器网络节点设计.....	严海峰 滕国库 许振茹(159)
应用ANSYS的船舶轴系合理校中计算.....	孙树德 段 睿 王宏志(163)
船舶定线制在长洲枢纽通航中的应用.....	李俊星 陈 恺(168)
转轮除湿空调技术现状及其在船舶上应用的研究.....	杨光海 陈 武(172)
灰色聚类分析模型在指标筛选中的应用.....	刘 培 沈 岩 王 钰 漆 律(176)
关于WHUT_SLP装载仪技术改进的研究.....	祁 亮 周瑞平(181)
基于刚柔混合的油底壳动应力仿真计算研究.....	陈 帅 向 阳 王 利(186)
基于直接法与接触法的气缸盖应力计算研究.....	田 磊 向 阳 高卫娟(190)
一种磁浮交通的新思路及其基本原理探究.....	黄子鑫(195)
PBN中卫星导航性能预测方法的初步研究.....	颜思明 沈笑云 焦卫东(199)
储罐底板腐蚀状况的BP神经网络诊断方法研究.....	任治倪(203)
大型客机复合材料雷击防护层设计与分析.....	马倩倩 纪朝辉 李 娜(208)
复合材料结构损伤容限的研究与发展.....	杨 倩(216)
航管二次雷达天线波瓣测量方案研究.....	闫 杰 李朝阳(221)
航空发动机风险评估模型的研究.....	方 括 闫国华(225)
航空维修的持续分析与监督系统研究.....	杨文涛 张晓全(228)
机场航空器污染物排放量和排放浓度计算方法.....	吕军华 王 维(232)
基于PLC的教学式飞机空调温度控制系统.....	李 静 高建树(235)
基于Bayesian网的飞机故障诊断方法.....	孟松杰 杨 慧 王 帅(240)
基于World Wind的飞行仿真初步研究.....	赵 瑞 沈笑云 焦卫东(245)
蒙皮腐蚀图像能量特征的小波分析提取算法.....	张 磊 荆明岚 孔海龙 高庆吉(249)
无人机在民用航空中的应用.....	杜海龙 张召悦(254)
小型飞机称重装置中传感器设计及参数研究.....	王 欢(258)
直升机森林灭火方式对比实证分析.....	陈兆鹏 吴桐水(263)
机载火警探测系统的改进研究.....	闫 群 张德银(267)
小波变换降低输油管道泄漏检测误报率研究.....	郝宏娜 李自力 梁 斌 徐娟娟(272)
基于系统科学理论的装备IETM功能研究.....	曹冒君 安庆杰 徐宗昌 周 健(276)

交通安全与信息技术

论铁路承运人的安全保障义务.....	魏 霞 郑 翔(280)
大风浪中影响船舶安全航行的因素分析与研究.....	王振兴 王凤武 杨柏丞 路其军(284)
海上交通综合安全评估的多元集对分析研究.....	吴建军 刘正江(287)
基于J2EE多层架构的网站内容管理系统的分析与设计.....	何丽多 陈 燕(291)

基于SOA的物流信息系统的开发与实现模型研究.....	刘琼琼	李向文(296)
基于 workflow 技术的船员管理系统.....	董越	胡松筠(300)
基于“物流元素及分子式”的物流信息平台建设研究.....	桑明光	李向文(305)
提升中小制造企业生产计划管理有效性的策略研究.....	鲍海霞	丁宁(309)
多元联系数集对模型在汽车驾驶员绩效评价中的应用.....	王金龙 漆律 刘培	张广义(313)
面向ATMS的道路安全信息清洗技术研究.....	刘峰 成卫	戴晓峰(317)
证据理论在天津港通航基础设施安全评价中的应用.....	郭威治	江福才(321)
政府引导基金下基金经理人薪酬激励机制研究.....	彭金鑫	(328)
FOD防范措施研究.....	姜运亮	高金华(334)
飞行冲突概率研究.....	邢文文	闫少华(338)
航空维修中人的因素与装备使用可靠性.....	周永清	(342)
机场刚性跑道破损风险评估方法研究.....	侯振宇	王维(345)
基于CPN的机轮刹车系统安全性评估研究.....	段晓静 罗云林	杨建忠(349)
基于DeviceNet设备网的助航灯光监控节点设计.....	耿晓剑 王修岩	李宗帅(353)
基于SHEL模型的机坪事故因素研究.....	冯雨佳 高金华	杜茂维(358)
基于RSS-OBb混合层次包围盒精确碰撞检测研究.....	段晓晔 孙毅刚	张红颖(363)
基于模糊层次分析法(FAHP)的配载平衡风险管理.....	汪关祥	孙瑞山(368)
基于数据库连接池技术的机票信息提取系统.....	孙晓雨 顾兆军	杨宇(373)
天津塘航煤管道完整性管理数据库的建立.....	于海霞	(378)
科学发展观视野下企业安全管理之思.....	申萍	孙健(382)
空中防撞系统中最接近点时间的理论探讨.....	蔡明	张兆宁(386)
利用GIS改进地方路网管理的方法探讨.....	于磊	赵方冉(391)
融入个性的精神集注情感建模.....	殷晓慧 纪雪松 郑兆瑛	高庆吉(396)
天津航空旅客的机场选择行为研究.....	曹义莲	(400)
自由飞行下冲突探测模型研究.....	周颖	唐训宇(405)
自主飞行空域中碰撞风险研究.....	吴杰	马兰(409)
基于灰色-马尔可夫模型的管制员数量预测研究.....	高浩然	陈亚青(414)
四川一次连续大雾过程分析及其对航空运行的影响.....	包晓丹 段炼	(418)
基于人因工程学的IETM信息显示技术研究.....	张耀辉	徐宗昌(422)
利用Fluent对汽车会车过程空气动力特性的研究.....	卢军	(427)

综 述 及 其 他

基于疏解流率的通行能力修正模型.....	刘明君 陈涛 杨静 蒋文	毛保华(431)
简论我国铁路物流产业政策体系的构建.....	王珏 郑翔	(435)
“中美轮胎特保案”基于产业内贸易指数分析.....	郭璐	(439)
《大韩民国商法》海商编2007年修订本之评析.....	徐世杰	(445)
《鹿特丹规则》取消承运人航海过失免责对现行海事海商制度的影响.....	傅静	(449)
FOB下发货人与承运人的权利义务关系.....	张云	(453)

UCP600下多式联运提单的审核.....	王 菲 (457)
WTO知识产权争端案件最新发展趋势分析.....	罗迎迎 (461)
保护航运业发展视角下的海上交通肇事罪.....	周先明 (466)
混合原因致货损下承运人的赔偿责任研究.....	李 垒 (470)
对美国“Rule B Attachment”最新发展的评析.....	李 玫 (474)
关于UCP600中海运单条款的法律分析.....	钟国伟 (477)
关于大学新生的就业观教育.....	单新静 (480)
航海院校航海文化建设探析.....	孙福胜 (484)
基于引力模型对我国双边贸易及贸易潜力的实证分析.....	潘海鹰 (488)
简析在建船舶买卖中融资银行的保险问题.....	李 玫 (493)
《鹿特丹规则》取消航海过失免责对船货双方的影响及其应对措施.....	王建伟 (496)
氯苯对小球藻生长影响的研究.....	田慧捷 熊德琪 (500)
论合作开发技术成果的权利归属.....	张 莹 徐红菊 (504)
记名提单法律性质的最新解析.....	王 胤 (508)
网络在高校思想政治教育中的运用.....	刘 思 (511)
论我国现行船舶融资租赁登记制度的不足.....	李 熙 (515)
论行政告知的方式及内容.....	王国聚 (519)
贸易引力模型对中国双边贸易的实证分析.....	刘一瑞 (522)
赳赳联合毒性对斑马鱼超氧化物歧化酶的影响.....	刘 聪 刘 阳 杭晓明 (526)
农村生态建设中乡镇政府所扮演的角色及职责探索.....	杨馥越 胡秋月 (530)
汽车逆向物流流程模式及推进策略探讨.....	王延宏 (533)
浅析毛泽东关于马克思主义大众化的思想.....	于赫然 (537)
浅析少数民族文化保护.....	张丽媛 (540)
浅析税收筹划主体及利益之平衡.....	杨 阳 (543)
浅析转租中次承租人的优先购买权.....	吴珊珊 (547)
论取消航海过失免责对海商法律制度的影响.....	张 云 (550)
试论《鹿特丹规则》的单证托运人制度.....	杨雪娇 刘 迪 (554)
无人提货时承运人救济之困境与完善.....	方 亮 (558)
物权法影响下的买卖合同所有权保留制度.....	彭俊芳 (561)
新型节能塑封机合模机构的研究.....	鞠德宝 李成求 纪玉龙 陈海泉 徐 鹏 兰红安 (565)
行政相对人权利对政权的制约作用.....	贺海利 (570)
在高校政治理论课教学中加强党建理论教育.....	申 晶 (575)
振荡—静态顶空法测定海水中溶存的N ₂ O579.....	王 芹 程 亮 詹叶敬 (579)
中国—东盟办公室机器零件之产业内贸易现状分析.....	胥 艾 (584)
中美钢管产品反补贴案的启示.....	赵 沫 (589)
自然观的非自然性及其合理形态.....	刘建涛 杨越馥 (593)
总量控制理论在海洋环评中的应用.....	张 舒 林建国 (597)
基于LabVIEW的变风量空调系统数据采集平台开发.....	雷艳杰 郭俊杰 陈 武 杜天玉 (600)
语音识别的仿真与应用探索.....	宋 团 张 兢 (604)

稠油破乳技术的研究与综合应用.....	梁金禄 郭 英(608)
二维胸腔电阻抗测量系统的研究.....	张翠红 张小娟 张 帅(612)
飞机起降对场道动力作用研究综述.....	闫华伟 蔡 靖(616)
关于均衡问题的一个强收敛定理.....	邓斌超 董巧丽(620)
含油污水微波分离实验研究.....	徐娟娟 陈世一 江国业(624)
航站楼工程中呼吸幕墙的节能特点分析.....	张立成 赵方舟(628)
基于VC的RP系统中STL文件的显示及模型变换.....	杨 鹏 贺怀清(632)
基于不同使用条件的建筑能耗模拟软件比较分析.....	程 伟 赵方舟(637)
基于单目视觉的工件识别定位方法研究.....	程婷婷 王修岩(641)
基于神经网络的生物组织光学特性参数无损测量.....	王章祯 张连顺(646)
基于蚁群优化算法的决策表属性约简方法.....	黄 信 陶 志 刘庆拯(650)
空中交通管制员综合英语水平评估研究.....	王 鑫 张兆宁(655)
路面不平整度仿真模拟的效果分析.....	袁义坤(659)
某民用机场跑道FWD强度检测及性能分析.....	李宗礼 王 维(664)
跑道两端存在高差时内过渡面几何特性确定方法.....	彭 超 王 维(669)
苹果组织光学参数的无损测量技术.....	赵孔阳 张连顺(673)
新扩展优势关系的不完备系统粗集模型.....	王 超 陶 志 周卫娜(677)
信息不确定性可视化的研究进展及挑战.....	贺怀清 杨 磊(681)
严格伪压缩映像的一种新的修正的Mann迭代.....	孟记丽(685)
油水两相分层流的两种压降预测模型.....	徐广丽 张国忠 刘 刚 张 鑫 赵 青(688)



基于改进拓扑度量法的城市 轨道交通网络可达性分析*

陈涛 蒋文 刘智丽 刘明君 毛保华

(北京交通大学 中国综合交通研究中心, 北京 100044)

摘要: 在分析矩阵方法和空间句法方法的基础上提出一种基于拓扑网络的可达性改进求法。该方法能够避免传统拓扑方法中的求最短路径问题, 求解过程大大简化。应用改进的方法对国内外大城市轨道交通网络可达性进行研究, 给出北京市轨道交通网络中所有换乘点的可达性排位。结果表明: (1) 使用改进方法算出的国内外轨道交通网络可达性与实际中上述城市轨道交通的发展水平大致相同, 从而验证了方法的适用性。(2) 我国大城市轨道交通网络可达性均小于7, 个别城市小于3, 国外典型城市的可达性均在7以上, 我国轨道交通发展网络可达性水平低于世界典型城市水平, 有待继续提升。

关键词: 拓扑度量法; 可达性; 城市轨道交通网络

0 引言

网络的可达性是衡量一个网络特性的重要指标, 用来反映网络中各节点间交通的便捷程度^[1]。可达性能够在一定程度上反映一个地区的轨道交通网络发展水平, 其作为一个衡量指标在城市轨道交通网络规划中具有很大意义。

可达性的研究最早是对空间上某一要素实体的位置优劣程度进行度量, 随着自然科学和社会科学的不断发展和细化, 可达性的研究范围及其应用也越来越广泛。从20世纪50年代开始, 国外学者对可达性进行了许多研究。Hansen^[2]首次提出了可达性的概念。Alien^[3]以及James A^[4]等人在前人研究的基础上, 提出以最小阻抗表示的可达性模型。Helling^[5]则以亚特兰大为例, 研究了1980~1990年美国大都市圈可达性的变化。目前国内对可达性的研究大致可分为以下三个方面: (1) 区域可达性研究, 如聂伟等^[6]从客运和货运两个角度建立区域节点城市 and 区域整体可达性指标模型。(2) 道路网络可达性研究, 如曹小曙等^[7]运用“最短路径模型”分析了目前中国国家干线公路网络联结的城市通达性空间格局。(3) 铁路网络可达性研究, 如金凤君等^[8]以“最短路径模型”为基础, 分析了我国铁路网络通达性格局的变化。

目前, 国内外对可达性的研究大多集中在区域和国家尺度上, 而部分对城市尺度内的研究更侧重于公交最短路径的计算、城市道路网络结构评价、居民出行可达性的计算机辅助评价等方面^[9]。对城市轨道交通的网络可达性研究较少。由于城市轨道交通网络与道路交通网络的流量分配有着明显的不同, 其中最重要的是前者要考虑不同线路特性对流量分配的影响, 即存在换乘问题; 而后者却不用考虑换乘问题^[10]。因此, 目前对道路可达性的研究不能照搬到城市轨道交通上来。本文将改进的拓扑度量法对国内外大城市的城市轨道交通网络可达性进行研究。

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(70631001, 70971010); 北京市教委北京交通发展研究中心产学研联合博士生培养基地建设基金项目(BJ2009-04)。

作者简介: 陈涛(1988-), 男, 硕士生。E-mail: 09121277@bjtu.edu.cn。导师: 毛保华(1963-), 男, 湖南祁阳人, 教授、博士生导师。

1 轨道交通网络可达性的定义

城市轨道交通的可达性反映了城市间不同区域通过轨道交通相互通达的便捷程度。一个区域的轨道交通网络是由很多条相互交错的轨道交通线路组成。这些轨道线路的相互交错使得部分乘客在旅行过程中须由一条线路换乘另外一条线路。这个由于“点对点”的交通需求与线网覆盖的不重合性矛盾造成的到另外一条线路乘坐的过程就是换乘。城市轨道交通网络中,与旅客换乘次数直接相关联的是网络的可达性。同样的道理,从一个换乘点到其他所有点的方便程度称为该换乘点的可达性。在一个轨道交通网络中,往返于两点之间需要换乘的次数越多,则该网络的可达性就越差;换乘的次数越少,该网络的可达性就越好。从一个换乘点到其他所有点需要换乘的次数越多,则该换乘点的可达性越差;反之亦然。

2 改进的拓扑度量法模型

可达性的拓扑度量法利用拓扑网络的思想,对网络中各个节点或者整个网络的可达性进行度量,它将现实中的网络抽象成图,通常只考虑点与点之间的连接性,而不考虑它们之间的实际距离,每一对互相连接的节点之间的距离被认为是等值的。度量方法有一般矩阵方法^[11]和空间句法^[12]。

一般矩阵方法中,连接*i*点与*j*点间的具有最少的线段数的路径是这两个节点之间的最短路径,最短路径包含的线段数是这两点之间的拓扑距离 d_{ij} 。一个节点到其他所有节点的拓扑距离之和可以反映该节点相对于其他节点

的可达容易程度,亦即可达性 $A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq i} d_{ij}$ 。网络中所有节点的可达性之和为整个网络的可达性 $A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$ 。

矩阵方法首先以网络中的节点为研究对象,选取换乘次数作为衡量可达性的指标。在研究区域航空网络、城市地铁网络中各点之间换乘次数、街区及场馆内部等的子空间之间的通视性度量等问题上因为拓扑距离比几何距离更重要^[13],故矩阵方法思路比较合理,但是求解过程要用到最短路径模型,较为复杂。

空间句法规定两个邻接节点间的距离为一步,则从一个节点*i*到另一个节点*j*的最短路程就是这两个节点间的深度值,用 d_{ij} 表示。系统中某个节点到其他所有节点的最短路程的平均值,称为该节点的平均深度值 $A_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} / (n-1)$ 。某节点的平均深度值大小表示从此节点到其他所有节点需要转换的次数。平均深度值 A_i 越小,表示从此节点到其他所有节点需要转换的次数越少,便捷程度越好。定义其倒数为该节点的可达性 $A' = 1 / A_i$ 。

整个网络的可达性可以表示成 $A = A' / n$ 。空间句法方法以网络中的线路为研究对象,选取两点间的深度值为可达性衡量指标,在求解系统中节点数量较多的问题时有元素数量干扰问题。虽然有所改进,但是求解过程依然较为复杂。

改进的拓扑度量法充分考虑城市轨道交通网络中,网络的可达性是与旅客换乘次数直接相关联的特性,以轨道交通路线为研究出发点,以换乘次数为可达性的度量指标进行研究,可以方便地进行求解。

定义可达性矩阵为 $D_{n \times n}$, d_{ij} 为可达性矩阵中元素, t_{ij} 为*i*线路可换乘到*j*线路的站点数。首先建立可达矩阵

$$D_{n \times n} = d_{ij}, \quad d_{ij} = \begin{cases} t_{ij}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}$$

$$D_{n \times n} = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & & \ddots & d_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ d_{n1} & \cdots & & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, n 表示网络中轨道线路的数目;

易知, 矩阵 $D_{n \times n}$ 是一个对称矩阵, 即 $d_{ij} = d_{ji}$ 。

定义矩阵行和 T_i 为第 i 条线与其他线路的换乘点数之和, 表示第 i 条线路的可达性。

$$T_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n-1} d_{ij} \quad (2)$$

整个网络的可达性可以表示成如下:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (3)$$

同一条线路上不同换乘点的可达性不尽相同, 设换乘点 k 为第 i 条线路与第 j 条线路的换乘点, 定义第 i 条线路的可达性 T_i 与第 j 和所有与之相连的线路的可达性和 $\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n T_l$ 之比为换乘点 k 对第 j 条线路可达性的贡献率, 用 g_k 表示, 即:

$$g_k = \frac{T_i}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n T_l} \quad (4)$$

T_i 与 g_k 的乘积即为换乘点 k 对第 i 条线路可达性的贡献值 G_k , 该换乘点上所有经过它的线路的可达性贡献值总和成为该换乘点的可达性, 即:

$$G = \sum_{k=1}^l G_k \quad (5)$$

其中, n 表示某条线路所包含的所有换乘点个数; l 表示经过某个换乘点的所有线路的总和。

3 算例分析

下面采用改进的拓扑度量法对国内外典型轨道交通网络可达性进行研究。

目前北京市轨道交通网络由 9 条线路组成, 共 18 个换乘站。

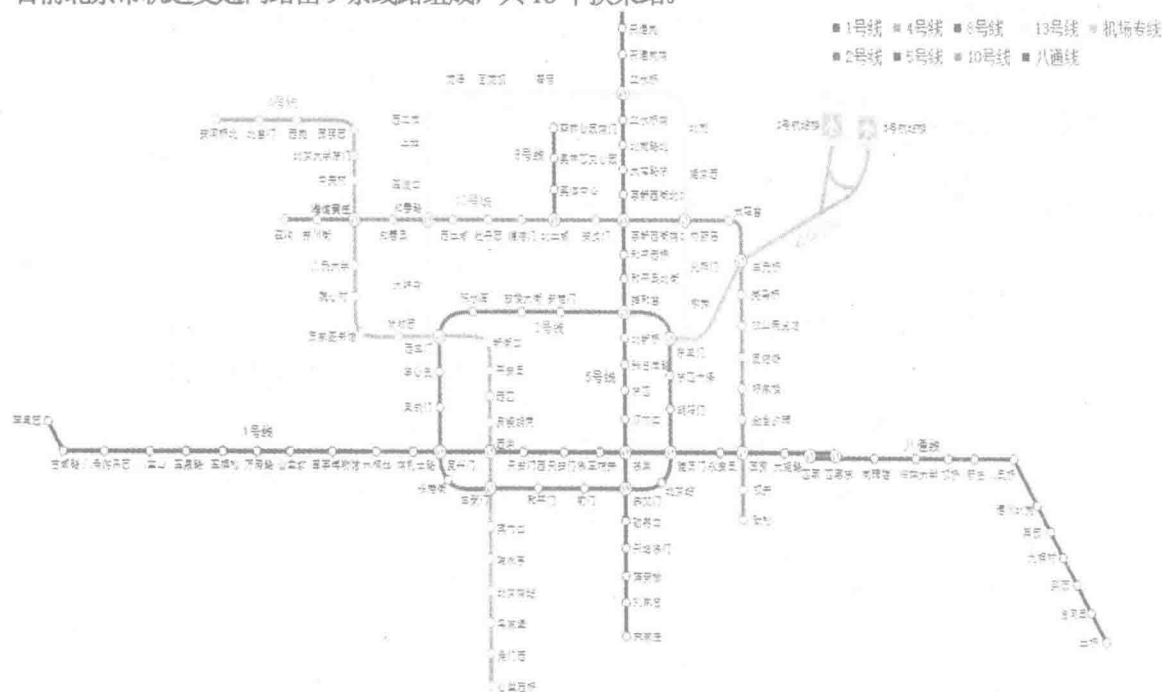


图1 北京市轨道交通图

建立可达矩阵表:

表1 北京市轨道交通可达矩阵表

线 路	1号线	2号线	4号线	5号线	8号线	10号线	13号线	八通线	机场线
1号线	-	2	1	1	0	1	0	2	0
2号线	2	-	2	2	0	0	2	0	1
4号线	1	2	-	0	0	1	1	0	0
5号线	1	2	0	-	0	1	1	0	0
8号线	0	0	0	0	-	1	0	0	0
10号线	1	0	1	1	1	-	2	0	0
13号线	0	2	1	1	0	2	-	0	1
八通线	2	0	0	0	0	0	0	-	0
机场线	0	1	0	0	0	0	1	0	-

可达矩阵为:

$$D_{9 \times 9} = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

计算容易得到 $T_1 = 7$, $T_2 = 9 \dots$, 进而可得到网络中各条线路的可达性:

表2 各条线路可达性表

线路	1号线	2号线	4号线	5号线	8号线	10号线	13号线	八通线	机场线
可达性	7	9	5	5	1	6	7	2	1

整个网络的可达性为 $T = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^n T_i = 4.9$ 。

由式 (3)、(4)、(5) 容易计算出网络中各个换乘点的可达性:

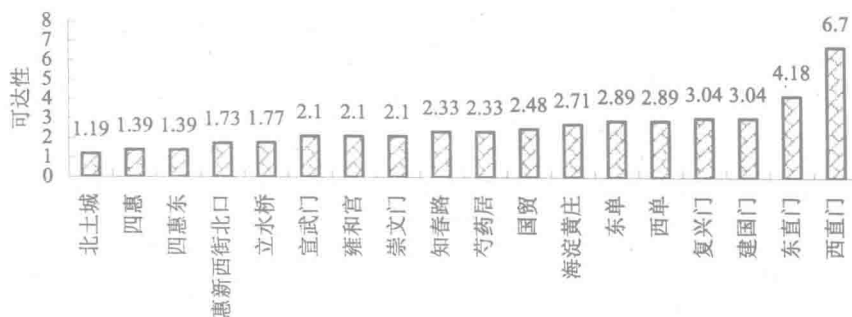


图2 各个换乘点可达性排位图

由上述数据分析可知,西直门、东直门的可达性明显高于其他换乘点,这是由于这两个换乘点连接线路较多,线网密度较大,可达性较好。同为三线相交的两个换乘站,西直门的可达性高于东直门,这是由于与西直门连通的4号线的可达性大于机场专线的可达性。而北土城等5个换乘点的可达性较差,均小于2,这是因为这些换乘点的连接线路较少且所在线路的可达性较差。

同理可以求出广州、香港、莫斯科、东京地铁(不考虑与东京地铁都营线及JR铁路、民营铁路的换乘连接)的网络可达性 $T = 7.8$,巴黎都市圈的轨道交通网络可达性 $T = 8.9$ 。也可求出上述大城市轨道交通网络中各个换乘站的可达性,由于篇幅限制,在此不再赘述。

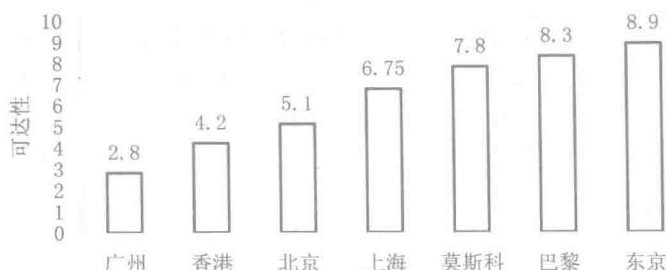


图3 国内外大城市轨道交通网络可达性对比图

从上述数据可以看出,目前国内大城市中,广州市的轨道交通网络可达性比较低,小于3。北京、香港和上海的轨道交通可达性均介于3到7之间,上海的可达性高于北京、香港。国外大城市网络可达性均在7以上。这说明目前国内城市与国外大城市轨道交通网络可达性存在一定差异,我国在城市轨道交通发展还不够成熟。未来我国在加大轨道交通建设的同时也应进行合理网络规划,减少线间总换乘次数,以提高网络的可达性。

4 结束语

本文在拓扑网络的基础上,总结矩阵方法、空间句法方法,结合轨道交通网络的特点给出轨道交通网络可达性的改进求法。并应用改进后的方法对国内外典型轨道交通网络的可达性进行分析。得出如下结论:

(1) 改进方法以轨道交通路线为研究出发点,以换乘次数为可达性的度量指标进行研究,考虑了轨道交通的网络的可达性是与旅客换乘次数直接相关联的特点,增加了简便的计算的优势,适合计算轨道交通网络的可达性。

(2) 通过改进方法算出的国内外轨道交通网络可达性与实际中上述城市轨道交通的发展水平大致相同,从而验证了方法的适用性。

(3) 我国城市轨道交通网络可达性整体在7以下,而国外城市可达性普遍大于7。我国与国外城市轨道交通可达性差异明显,说明我国轨道交通发展不够成熟。

【参考文献】

- [1] 盖春英,裴玉龙.公路网络可达性研究[J].公路交通科技,2006,23(6):104-107.
- [2] Hansen WG How accessibility shapes land-use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25: 73-76.
- [3] Mackiewicz, Andrzej, Ratajczak, Waldemar. Towards a new definition of topological accessibility[J]. Transportation Research Part B, 1996, 30(1): 47-79.
- [4] Pooler, James A. The use of spatial separation in the measure—measurement of transportation accessibility[J]. Transportation Research Part A, 1995, 29(6): 421-427.
- [5] Helling, Amy. Changing Intra-Metropolitan Accessibility in the U.S.: Evidence from Atlanta. 1998, 49(2): 55-107.

- [6] 聂伟, 邵春福. 区域交通可达性测算方法分析[J]. 交通科技与经济, 2008, 10(4): 85-87.
- [7] 曹小曙, 薛德升, 阎小培. 中国干线公路网络联结的城市通达性[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 903-910.
- [8] 金凤君, 王娇娥. 20 世纪中国铁路网扩展及其空间通达性[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 293-302.
- [9] 李平华, 陆玉麟. 可达性研究的回顾与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(3): 69-77.
- [10] 四兵锋, 毛保华, 刘智丽. 无缝换乘条件下城市轨道交通网络客流分配模型及算法[J]. 铁路学报, 2007, 29(6): 12-18.
- [11] 陈洁, 陆锋, 程昌秀. 可达性度量方法及应用研究进展评述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 100-103.
- [12] 程昌秀, 张文尝, 陈洁, 蔡俊. 基于空间句法的地铁可达性评价分析——以 2008 年北京地铁规划图为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(6): 31-35.
- [13] 赵淑芝, 匡星, 张树山, 姜波. 基于 TransCAD 的城市公交网络可达性指标及其应用[J]. 交通运输系统工程与信息, 2005, 5(2): 55-59.

铁路旅客运输服务网络特性研究*

蒋文 陈涛 刘智丽 刘明君 毛保华

(北京交通大学 中国综合交通研究中心, 北京 100044)

摘要: 随着复杂科学问世与发展, 复杂网络理论在交通系统领域的研究得到越来越广泛的应用。本文以中国现阶段的铁路运输服务的停靠站点网络为研究对象, 通过对旅客列车相关数据采集整理, 运用复杂网络理论, 从网络的节点度分布, 平均路径长度, 聚类系数等方面进行了统计分析, 研究发现中国铁路运输服务网络是具有无标度性质的小世界网络, 并分析了其抗毁性。

关键词: 复杂网络; 旅客运输服务网络; 无标度网络; 特性分析; 抗毁性

0 引言

交通运输系统是一个复杂巨系统, 而复杂网络作为复杂系统的重要研究工具之一, 为深入研究交通网络的各种特性及动力学过程与拓扑结构间的相互作用等问题, 奠定了理论基础。目前, 将交通网络抽象为复杂网络, 并进一步利用复杂网络理论深入研究交通的各种特性, 得到了国内外研究学者广泛的关注^[1]。

从国外来讲, Julian Sienkiewicz et al (2005) 研究了波兰 22 个城市的公交系统, 利用两种网络拓扑结构 (P 空间和 L 空间) 对其进行了分析, 得出该城市公交网络具有小世界网络行为^[2]。Vito Iatora et al (2003) 研究了波士顿地铁网络特性^[3]。Seaton et al (2004) 计算了波士顿和维也纳两个城市的铁路线路网络的拓扑特性, 并将该结果与相应的随机二部图的理论预测结果进行比较, 发现了关于平均度值的良好对应^[4]。Amaral et al (2000) 学者研究了航空网络的拓扑结构, 得出其度分布服从幂律分布^[5]。这些研究均表明, 交通网络表现出了复杂网络的结构特性。前述的研究成果仅仅考虑交通网络的结构特性, 而没有涉及网络上具体的交通行为。

就国内来说, 张伟等 (2008) 从城市公交和复杂网络研究现状出发, 阐述了城市公交网络的三种模型: 公交站点网络模型、公交线路网络模型、公交换乘网络模型。并以江苏南京市公交网络为例, 分析了城市公交网络的几何特性, 指出南京市公交网络具有一定的增长性, 其结点在新增结点有着很强的偏好依附性。高自友等 (2006) 对复杂网络理论与城市交通系统复杂性问题进行了相关研究, 说明了城市交通网络具有绝大多数复杂加权网络的特征, 提出了今后城市交通网络复杂性问题的研究主题。秦艳等 (2008) 对上海市加权公交站点网络拓扑结构进行了静态统计分析, 研究中发现: 一个停靠站点上的饱和运输量和该站点的链接密度之间是一种超线性的关系。该发现为分析公交客流量分布提供了重要的借鉴。

铁路旅客运输服务网络也可以抽象为列车开行线路和停靠站点构成的复杂网络, 这个网络的几何性质对旅客运输服务的状况具有重要影响, 本文以中国铁路旅客运输服务系统中的停靠站点网络为研究对象, 对其进行特性分析, 为该网络的优化和完善提供决策依据。

1 铁路旅客运输服务网络理论分析方法及指标

复杂网络是大量真实复杂系统的抽象, 它能够刻画复杂系统内部的各种相互作用或关系。复杂网络拓扑基本

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (70631001, 70971010); 北京市教委北京交通发展研究中心产学研联合博士生培养基地建设项 (BJ2009-04)。

作者简介: 蒋文, 男, 湖南浏阳人, 北京交通大学交通运输学院研究生, 研究方向为轨道交通规划与管理, E-mail: jiangwen0814@163.com。导师: 毛保华 (1963-), 男, 湖南祁阳人, 教授、博士生导师, 主要研究方向为轨道交通规划与管理。