

基于节点可达度的公交多路径搜索算法*

符光梅^{1,2}, 王 红^{1,2}

(1. 山东师范大学 信息科学与工程学院, 济南 250014; 2. 山东省分布式计算机软件新技术重点实验室, 济南 250014)

摘 要: 针对公交网络路径搜索问题,以复杂网络的角度进行了相关研究。根据出行者实际需求,提出一种基于节点可达度的公交多路径搜索算法。采用复杂二分网络模型来描述公交网络,将公交线路和公交站点分别看做一类节点,每条公交线路与它所经过的公交站点之间存在连边;在分析网络社团结构的基础上定义了节点可达度,算法根据节点可达度逐步搜索直至目的节点,搜索过程保留可能存在的多条最佳路径。实验结果表明,该方法能够得到最小换乘的多条有效路径。

关键词: 二分网络; 节点可达度; 公交网络; 多路径搜索

中图分类号: TP301.6; U491

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)12-4492-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.023

Multi-path search algorithm in public transportation based on node accessibility

FU Guang-mei^{1,2}, WANG Hong^{1,2}

(1. School of Information Science & Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory for Distributed Computer Software Novel Technology, Jinan 250014, China)

Abstract: This paper studied path search problem in public transport network from the perspective of complex network, and proposed a multi-path search algorithm in public transportation based on node accessibility from the actual needs of travelers. This algorithm represented public transport network with complex bipartite network, which regarded bus lines and bus stations as different kinds of nodes respectively and there was an edge between each line and every station it passed. Based on the analysis of network community, it defined a concept of node accessibility. The algorithm searched paths from source node to destination node according to node accessibility and it reserved multiple possible optimal paths. Experiment result shows that this algorithm can find several effective paths which have the minimum transfer times.

Key words: bipartite network; node accessibility; public transport network; multi-path search

0 引言

近年来,随着小世界效应和无标度特性的发现,复杂网络成为诸多领域中的一个研究热点。复杂网络是一门结合了众多学科的交叉学科,它所研究的是各种看上去互不相同的复杂网络之间的共性及处理它们的普适方法^[1]。复杂网络的广泛应用引起了许多交通学者的兴趣,他们通过大量实证研究发现,交通运输网络与其他网络一样,具有复杂网络的结构特性,这一发现为利用复杂网络理论研究交通网络的相关问题奠定了坚实基础^[2-4]。

城市公共交通运输以其覆盖面广、经济快捷的特点,目前仍是绝大多数出行者的首选方式^[5]。快速找到最优出行路径对人们的出行选择及交通资源合理利用具有重要意义。

公交网络最优路径的选择不同于普通交通道路网络中最短路径的选择,由于必须考虑不同的公交线路,所以经典的最短路径选择算法(如Dijkstra算法、Floyd算法及Moore算法等)并不能够直接用来对公交网络进行选路^[6]。相关文献对公交乘客出行心理的统计结果显示,换乘次数、出行时间、出行距离

是人们选择公交出行时依次考虑的问题^[7]。其中,换乘次数直接关系到出行的费用和时间,所以求解最优路径应力求换乘次数最小;出行时间通常以距离来衡量,同时又受所经过路段拥挤程度等因素的影响,不容易确定,因此有必要在换乘次数最小的情况下尽可能给出多条路径供乘客选择。在根据实际情况选定一种出行路径后,人们最想知道的问题是这条路径需要从哪个站点上车、乘坐哪条线路,以及中间换乘点及各换乘线路,而对于换乘点以外的途经站点信息则不太关心。

出于以上考虑,本文将复杂网络理论应用于公交路径搜索问题,提出一种新的公交多路径搜索算法。该算法采用复杂二分网络对公交网络建模,模型包含线路和站点两类信息,为人们出行选择提供了更加全面的信息;由于模型本身的特性,算法不需要反复判断换乘并且能够在较小步数内找到有效解,具有较高的效率。

1 节点可达度

1.1 公交网络建模

按照网络内节点类型的数量,可以把复杂网络分成单顶

收稿日期: 2012-05-07; **修回日期:** 2012-06-15 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60970004);山东省研究生教育创新计划资助项目(SDYY10059)

作者简介: 符光梅(1987-),女,山东临沂人,硕士研究生,主要研究方向为智能算法、复杂网络(yunluoxianzi@163.com);王红(1966-),女,教授,博导,主要研究方向为复杂网络、移动计算。

点网络、二分网络等形式。二分网络由两类节点以及两类节点之间的连边组成,同类节点之间不存在连边^[8]。本文以复杂二分网络对公交数据进行建模,将公交线路和公交站点分别看做是一类节点,若某一公交线路经过某站点,那么它们之间就存在一条连边。公交线路之间或公交站点之间不存在连边。图 1 给出了利用二分网络对公交数据建模的示意图,图中以不同线型标志了不同线路。

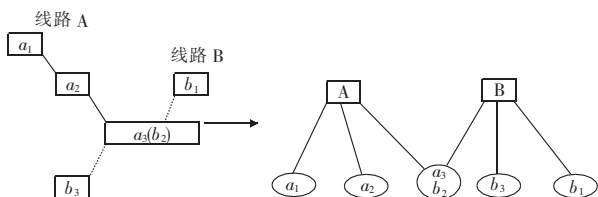


图 1 公交二分网络描述

公交二分网络中,任意两站点之间的路径包含了中间各个换乘线路及换乘点,且最短路径即是最小换乘的路径。

1.2 节点可达度定义

复杂网络社团结构是许多实际网络的一个共同特性,社团结构的显现对整个网络的结构和功能有重要意义。二分网络社团可以看做二分网络中的一组节点,使得社团内部异质节点间的连接比较密集,而社团间的异质节点间连接比较稀疏,如图 2 所示。

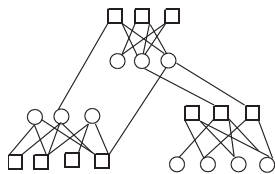


图 2 二分网络社团示意图

公交网络中也有类似现象,公交网络中各个交通区域内部公交站点与线路联系密切,而不同交通区域的线路与站点间联系则相对稀疏。本文在分析公交二分网络社团性的基础上,定义网络中任意两节点间的可达度为

$$A_j^i = |r|, r = \{m | m \in n(i) \cap C(m) = C(j)\} \quad (1)$$

其中: $n(i)$ 表示节点 i 的邻居节点, $C(i)$ 表示节点 i 所属的社团号。节点 i 到节点 j 的可达度即节点 i 的邻居当中与节点 j 同属一个社团的节点的个数。

2 多路径算法介绍及分析

由网络社团的定义可知,社团内的节点间连接比较多,而社团间的连接相对较少。公共交通网络中,可将不同的交通区域看做网络社团,社团内部节点间连接较多,那么由社团内部某一点到达内部另一节点的可能性就大,因此进行路径搜索时,源节点应尽量向目的节点所在的社团靠近。根据这个思想,考虑先将公交二分网络划分为不同的社团,然后根据式(1)提出的节点可达度进行搜索。

2.1 社团划分方法

复杂网络社团划分的方法有很多,各自有不同的适用范围,本文考虑公交二分网络社团边界可能不是很清晰,即有可能出现重叠节点的特点。采用文献[9]所提出的二分网络社团划分方法,具体流程如下:

文献中定义社团 k 对节点 i 的作用力为

$$F_{k,i} = \sum_{j \in k, a \in w} A_{ia} \in A_{ja}^T$$

其中: A 为网络的邻接矩阵, w 为不同于 i, j 两个顶点的另一类顶点的集合。

a) 对于任意一类包含 m 个顶点的集合 G_m ,任意选取一个顶点,将其一半的邻居合并为一个社团。这样就将二分网络的另一类节点集合 G_n 随机分成了 m 个初始社团。

b) 对 G_n 中每一个顶点,计算它与这 m 个社团的作用力 $F_{k,i}$,并将顶点移至与其作用力最大的社团中。

c) 检查划分的社团,如果有两个社团是一样的,只保留其中的一个。

d) 重复 b)c) 两步,使社团结构达到稳定状态。

该算法允许社团间存在重叠节点,能够比较准确地识别出公交二分网络的社团结构。

2.2 搜索算法思路及流程

在社团结构划分的基础上,从源节点 S 到目的节点 D 的路径搜索过程如下:

a) 初始化已标记节点集合 $F = \emptyset$,当前路径集合 $P_s = \{S\}$,待处理节点集合 $C = \{S\}$ 。

b) 对集合 C 中每个未标记节点 m 执行以下操作:创建一个路径集合 P_m ,令 $P_m = P_s \cup \{m\}$,并将这些节点 m 加入集合 F ;遍历 m 的所有不在集合 F 中的邻居节点 h ,如果 h 是目的节点 D ,则将 h 加入集合 F 和 P_m ,否则转向下一步。

c) 判断当前节点 h 与目的节点 D 的节点可达度,选择与目的节点 D 可达度最大的节点加入待处理节点集合 C ;如果与节点 D 的可达度最大的节点 h 有多个,则将它们都加入集合 C 。

d) 令 $P_s = P_m$,执行步骤 b),直到每个集合 P_m 中都包含目标节点 D 或网络中所有节点都已经在集合 F 中为止,顺序输出元素个数最少的集合 P_m 中的所有节点,即是最小换乘的路径。

2.3 算法分析

复杂二分网络路径长度的一半减 1 表示了乘客出行的换乘次数^[10]。相关调查显示,公交乘客出行的换乘次数一般不超过三次,即从二分公交网络中任一节点出发,一般不会超过七步就可以找到目的节点,因此该算法具有快捷性。同时因为二分网络的路径长度与换乘次数成正比,所以求得的最短路径即是出行换乘最少的路径,无须反复判断是否存在换乘。算法根据节点间可达度进行搜索,而不是盲目扩散,缩小了搜索范围,从而加快了搜索速度。算法采用二分网络对公交数据进行建模,求得的路径包含换乘站点和乘坐线路两类信息,并且算法可以求得最小换乘的多条路径,很好地满足了人们的出行需要。

3 算例分析

根据算法的设计流程,用 MATLAB 编写了该搜索算法,采用文献[11]中的公交网络对本文提出的算法进行验证。如图 3 所示,该公交网络共有六条线路,同一线路相邻站点之间有连边,并以不同线型标示出了不同线路。

对图 3 所示的公交网络,首先用复杂二分网络对其建模,即把 6 条公交线路和 15 个公交站点当做网络中的节点,如果某条线路经过某一站点,则它们之间有一条连边。对所构建的

公交二分网络社团划分的结果如图4所示(为了方便区分不同类节点,将线路1~6分别用字母A~F表示)。

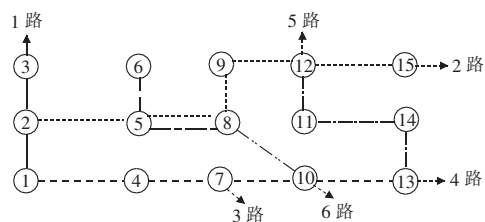


图3 示例公交网络

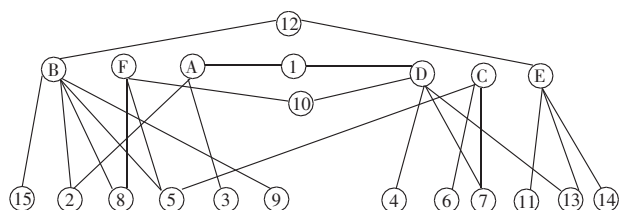


图4 示例公交网络的社团结构

由图4可以看出,该二分公交网络模型被划分为两个不同社团,并且两社团间存在三个孤立节点分别是站点1、站点10和站点12。本文把它们每一个视为一个独立的社团,则网络中一共有五个社团,分别进行编号。利用本文算法分别搜索从站点1到站点12、站点2到站点10的最佳路径,结果如表1所示。

表1 本文算法执行结果

所求路径	路径编号	路径输出节点	换乘次数	所经站点数
1—12	1	1-A-2-B-12	1次	5站
	2	1-D-13-E-12	1次	7站
2—10	1	2-B-8-F-10	1次	3站
	2	2-B-5-F-10	1次	3站
	3	2-A-1-D-10	1次	4站

表2显示了文献[10]的算法对同一个算例的搜索结果,该算法可以求出两点间指定数量的多条路径,但这些路径的换乘次数不能保证是最小的,且算法给出了路径所经过的所有站点,并没有区分这些站点信息对乘客的重要程度,也没有输出换乘所需的线路信息。对比表1和2中相关数据可以看出,本文算法可以求出最小换乘下的多条最佳出行路径,并且结果给出了相应的换乘点和换乘线路,可以较好地满足乘客的实际出行需求。

表2 文献[10]中算法搜索站点1~12的路径结果

路径编号	所经站点序列	换乘次数	所经站点数
1	1-2-5-8-9-12	1次	5站
2	1-4-7-10-13-14-11-12	1次	7站
3	1-2-5-7-10-13-14-11-12	2次	8站
4	1-2-5-8-10-13-14-11-12	2次	8站

4 结束语

公交网络路径选择问题的研究对公交网络优化以及公交线路查询具有重要的实际意义。现有的研究多采用有向赋权图模型描述公交网络,需要在路径搜索过程反复判断是否存在换乘,且搜索步数较多。本文将复杂网络的理论应用于公交最优路径求解问题,提出一种新的公交多路径搜索算法。将算法应用于具体实例,结果表明本文算法可以较快地求得最小换乘下的多条有效路径以供乘客选择。因此,该算法对于解决公交线路搜索问题具有重要的实际意义。

参考文献:

- [1] 汪小帆,李翔,陈关荣. 复杂网络理论及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [2] BAGLER G. Analysis of the airport network of India as a complex weighted network[J]. *Physica A*,2008,**387**(12):2972-2980.
- [3] SEN P, DASGUPTA S, CHATTERJEE A, et al. Small-world properties of the Indian railway network[J]. *Physical Review E*,2002,**67**(2):036106.
- [4] JIANG Bin, CLARAMUNT C. Topological analysis of urban street networks[J]. *Environment and Planning B*,2004,**31**(1):151-162.
- [5] 蔡念,蔡彩燕. 一种公交网络最优路径新算法[J]. 计算机应用研究,2010,**27**(3):907-908.
- [6] 龚萍. 城市公交网络最优路径求解算法研究[D]. 成都:电子科技大学,2010.
- [7] 侯刚,周宽久. 基于换乘次数最少的公交网络最优路径模型研究[J]. 计算机技术与发展,2008,**18**(1):45-47.
- [8] 吴亚晶,张鹏,狄增如,等. 二分网络研究[J]. 复杂系统与复杂性科学,2010,**7**(1):1-12.
- [9] 王洋,狄增如,樊瑛. 二分网络社团结构的比较性定义[J]. 复杂系统与复杂性科学,2009,**6**(4):40-44.
- [10] 闫小勇,尚艳亮. 基于二部图模型的公交网络路径搜索算法[J]. 计算机工程与应用,2010,**46**(5):246-248.
- [11] 鲍江宏,关毅璋. 基于矩阵运算的公交查询高效算法[J]. 计算机工程与应用,2008,**44**(10):198-200.
- [6] 刘衍民,牛奔,赵庆祯. 求解约束优化问题的多目标粒子群算法[J]. 计算机应用研究,2011,**28**(3):851-854.
- [7] 过晓芳. 基于粗糙集理论的改进ε-支配多目标进化算法[J]. 计算机应用研究,2011,**28**(3):948-950.
- [8] DEB K, JAIN H. Parent to mean-centric self-adaptation in single and multi-objective real-parameter genetic algorithms with SBX operator, KanGAL Report 2011017[R].
- [9] ZITZLER E, DEB K, THIELE L. Comparison of multi-objective evolutionary algorithms; empirical results [J]. *Evolutionary Computation*,2000,**8**(2):173-195.
- [10] ZITZLER E, THIELE L. Multi-objective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength pare to approach [J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*,1999,**3**(4):257-271.
- [11] 龚正,王毅,周佳. 一种改进的多目标演化算法[J]. 计算机工程与应用,2010,**46**(26):43-45.

(上接第4465页)

参考文献:

- [1] DEB K, PRATAB A, AGARWAL S, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm; NSGA-II [J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*,2002,**6**(2):182-197.
- [2] ZITZLER E, LAUMANN S, THIELE L. SPEA2: improving the strength Pareto evolutionary algorithm, TIK-Report Nr./03 [R]. Iúrich; ETH, TIK,2001.
- [3] 樊纪山. ε-dominance 多目标演化算法在优化问题中的应用研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2006.
- [4] 肖晓伟,肖迪,林锦国,等. 多目标优化问题的研究概述[J]. 计算机应用研究,2011,**28**(3):805-808.
- [5] 李峰. 多目标演化算法及在优化问题中的应用[D]. 武汉:武汉理工大学,2004.