

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201404036
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.tp.20150526.1415.002.html>

公交地铁一体化下的网络模型与最优路选择算法

徐勇, 贾欣, 王哲, 王翠柳
(河北工业大学 理学院, 天津 300401)

摘要: 公交地铁网络出行线路优选问题是公交网络系统研究的核心问题之一。为此研究了公交地铁一体化条件下的公交网络出行优化模型与算法。构造公交地铁网络的标号模型及映射网络模型, 以适当倍数缩小地铁线路上站点之间的权值, 进而可将公交与地铁进行一体化处理, 缩小后可使地铁线路具有明显的优势以达到优选地铁的目的。运用映射网络图、二分图、半张量积等理论给出了公交地铁一体化网络的最优路选择算法。最后实证了该方法在公交地铁网络线路优选的有效性。

关键词: 公交; 地铁; 最优线路; 半张量积; 标号; 映射网络; 二分图
中图分类号: TP18; U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2015)03-0482-06

中文引用格式: 徐勇, 贾欣, 王哲, 等. 公交地铁一体化下的网络模型与最优路选择算法[J]. 智能系统学报, 2015, 10(3): 482-487.
英文引用格式: XU Yong, JIA Xin, WANG Zhe, et al. Transit network models and optimal path selection algorithm for the integrated bus and subway system[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2015, 10(3): 482-487.

Transit network models and optimal path selection algorithm for the integrated bus and subway system

XU Yong, JIA Xin, WANG Zhe, WANG Cuiliu
(School of Science, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: In this paper, the travel optimal model and algorithm of public transit network for the integrated bus and subway system are studied. First, a label model and mapped network model are constructed for the bus and subway network. The weight between two subway stations is appropriately reduced to deal with the bus and subway integration problem. The subway has obvious advantages after reduction and subway becomes the preferred option. Next, the optimal path selection algorithm of the integration network of bus and subway is given using the mapping network graph, bipartite graph, and semi-tensor product theory. Finally, the effectiveness of the proposed method in optimized selection of the public transit network is illustrated by a numerical example.

Keywords: public transit; subway; optimal path; semi-tensor product; label; mapping network graph; bipartite graph

日益现代化的交通方式给人们出行带来很大便利, 其中公交与地铁是大型城市中的主要交通工具。考虑到我国人口众多, 城市交通拥堵问题日益严重, 对公交地铁系统的研究已成为一个热门又困难的课

题。公交地铁系统的研究主要包括网络构建、公交配流与最优路选择算法 3 个方面, 而查询算法在其中起到核心作用, 它为人们提供出行的路径选择, 切身关系到整个公交地铁网络是否高效运作, 是公交系统研究的核心问题之一。

目前虽然有一系列针对公交网络的最短路径搜索算法^[1-11], 主要包括基于图论的查询算法^[1,9], 基

收稿日期: 2014-04-18. 网络出版日期: 2015-05-26.
基金项目: 河北省自然科学基金资助项目 (A2013202198); 国家大学生创新创业训练计划项目 (201310080030).
通信作者: 徐勇. E-mail: xuyong@hebut.edu.cn.

于数据库的查询算法^[2,5]和基于矩阵运算的查询算法^[11]。目前针对地铁主导下的公交网络的最短路径搜索算法却不多见。

考虑到地铁在大城市公交系统中日益占主导地位这一事实,在文献[9]的基础上,将优选地铁出行作为基本出发点,对公交与地铁站点标号的同时,将地铁线路上站点间的权值成倍缩小,再依次按照换乘次数、乘车距离进行路径选择时就达到了优选地铁的目的,且一体化后的模型更加清晰、简便。

1 高维数组的表示

称一个数组是 k 维的,如果它的元素是由 k 个指标索引的,更确切地说,称 S 是一个形如 $\text{Id}(i_1, i_2, \dots, i_k; n_1, n_2, \dots, n_k)$ 的 k 维数组,如果它能表示成^[10,12]:

$$S = \{S_{i_1, i_2, \dots, i_k} \mid i_1 = 1, 2, \dots, n_1; \dots; i_k = 1, 2, \dots, n_k\}$$

 $|S|$ 的大小,即 S 中元素的个数,记作 $|S|$ 。
且 $|S| = n_1 \times n_2 \times \dots \times n_k$ 。

记 $\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(k)$ 是 $1, 2, \dots, k$ 的一个排列,若它能排成一个

$$n_{\sigma(1)} \times n_{\sigma(2)} \times \dots \times n_{\sigma(t-1)} \times n_{\sigma(t+1)} \times \dots \times n_{\sigma(k)}$$

的矩阵,称它是按照 $\begin{bmatrix} & & t \\ 1, \dots, t-1, t+1, \dots, k \end{bmatrix}$ 形式排列的,即按照 t -行形式排列的。

文中需记录大量两站点 i, j 在 L_k 线路上所经过的站点数,它是三维数组,记公交地铁网络信息矩阵 $W = [w_{i,j}^k]_{n \times n \times m}$, $w_{i,j}^k$ 表示 i, j 两站点在 L_k 线路上所经过的站点数, m 表示有 m 条公交地铁线路, n 表示有 n 个公交地铁站点。

2 公交地铁网络优化模型

2.1 公交地铁网络图

公交地铁网络是由公交线路和地铁线路组成的网络^[13],每条线路经过若干站点,每个站点有多条线路通过,记站点集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$,其中 S_1, S_2, \dots, S_n 为站点;线路集合 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$,其中 L_1, L_2, \dots, L_m 为线路。由站点集合 S 和线路集合 L 构成的二元组 $H = \{S, L\}$ 反映到图上,即为公交地铁网络图。

例如,某公交地铁网络由 1 条地铁线路、2 条公交线路、2 个地铁站点(地铁站点都为公交站点)和 2 个公交站点(不包含前述地铁站点)组成,他们分别为地铁线路 L_0 ,公交线路 L_1, L_2 ,地铁站点 S_1, S_2 ,公交站点 S_3, S_4 ,如图 1。

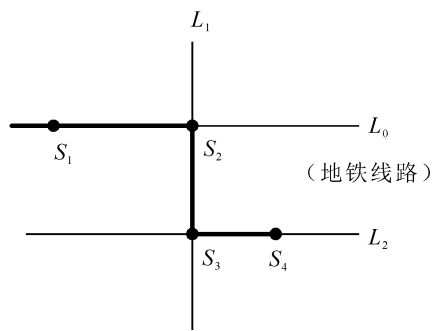


图 1 公交地铁网络
Fig. 1 Bus and subway network

2.2 公交地铁网络的二分图模型

公交地铁网络二分图是三元组 $G = (S, L, E)$,其中 S 和 L 是 2 个不相交的顶点集,分别为顶部和底部的顶点集,并且 $E \subseteq S \times L$ 是一个边集,边连接顶部和底部的顶点。

具有 2 种属性的复杂网络可用二分图表示^[14-15]。公交地铁网络的站点和线路 2 种属性决定了它可以反映到二分图上。将顶点集合 S 看作二分图的上顶点集,线路集合 L 看作二分图的下顶点集,公交线路 L' 经过站点 S' ,则在 L' 线路与 S' 站点之间有边相连。图 2 是图 1 的公交网络对应的网络二分图。

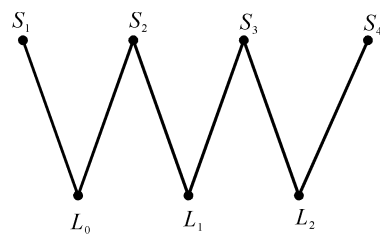


图 2 网络二分图
Fig. 2 Bipartite network graph

由图 2 看出, S_1 与 S_2 可直接到达, S_1 与 S_3 需经过 S_2 换乘, S_1 与 S_4 需经过 S_2, S_3 换乘到达。二分图比网络图更加直观地显示出换乘次数。

2.3 公交地铁网络图的映射图

公交地铁网络图的映射图包括线路映射网络图和站点映射网络图,可以由二分图得到。

二分图 $G = (S, L, E)$ 的上顶点映射图(即站点映射网络图)为 $G^S = (S, E^S)$,边集 $E^S = \{S_i S_j \mid N(S_i) \cap N(S_j) \neq \emptyset\}$,其中 $N(S_i)$ 为 S_i 在二分图中的邻接点集合。它的下顶点映射图(即线路映射网络图)为 $G^L = (L, E^L)$,边集 $E^L = \{L_i L_j \mid N(L_i) \cap N(L_j) \neq \emptyset\}$,其中 $N(L_i)$ 为 L_i 在二分图中的邻接点集合。线路映射网络图能反映出线路之间的连通关系,两站点所在的线路在线路映

射网络图中所连接的边数反映了乘客的换乘次数。站点映射网络图表示站点之间的连通关系,它能反映出乘客换乘次数的同时,也给出了换乘站点。

图3为图2的线路映射网络图,图4为图2的站点映射网络图。由图3可以看出, L_1 与 L_0 、 L_2 之间分别为一条边,即若出发站点在 L_1 站点上,目的地站点在 L_0 站点或 L_2 站点上,转乘1次公交或者地铁即可到达。若出发站点在 L_0 线路上,目的地站点在 L_2 线路上,则需在 L_1 线路上的某2个站点处转乘,乘坐3次公交或地铁即可到达目的地。由图4可以看出, S_1 与 S_2 有一条边相连,即两站点在一条线路上,可以直达。 S_1 与 S_3 之间有2条边,且经过 S_2 站点,则从 S_1 站点到达 S_3 站点必须在 S_2 站点转乘,即坐2次公交或地铁到达。 S_1 与 S_4 之间有3条边相连,从图可直接看出,由 S_1 站点出发,需在 S_2 和 S_3 站点转乘,以到达 S_4 站点。

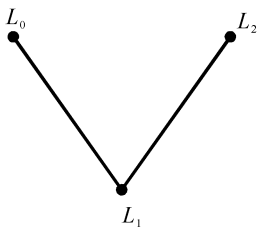


图3 线路映射网络图

Fig. 3 Line mapping network graph

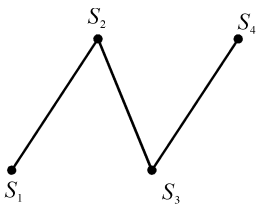


图4 站点映射网络图

Fig. 4 Site mapping network graph

3 最优路选择算法

首先对每条线路上的站点进行一体化标号,考虑到地铁的快捷性、准时性、舒适性等优点,优选地铁出行是大势所趋。这样,将地铁线路上两站点间乘车距离权值适当减小,这样就达到了优选地铁出行的目的。

3.1 标号公交地铁网络的模型

若线路 L_k 上有 k_n 个站点, $L_k:S_{k_1},S_{k_2},\dots,S_{k_n}$,站点 S_{k_j} 在线路 L_k 上的标号为 j ,记为 $N_j^k=j$,在二分网络图中边 $L_kS_{k_j}$ 的权值为该站点在线路 L_k 上的标号: $N_j^k=j$ 。

然后建立公交地铁线路映射网络和站点映射网

络。在站点映射网络中,对边 S_iS_j 赋值,记为 $w_{i,j}^k$,且 $w_{i,j}^k = |N_j^k - N_i^k|$,它代表在 L_k 线路上 S_i 、 S_j 两站点之间的站点数。若 S_i, S_j 不在 L_k 线路上,令 $w_{i,j}^k = 0$ 。

3.2 基于标号网络模型最优路选择的算法

1)给出任两站点 S_i 与 S_j ,构造直达检验向量 $\alpha_{ij} = W \triangleright e_i \triangleright e_j$,其中 $W = [w_{i,j}^k]_{n \times n \times m}$, e_i 表示第 i 个元素为1,其余全为0的 n 维单位向量,若 $\alpha_{ij} = (w_{i,j}^1, w_{i,j}^2, \dots, w_{i,j}^m)^T \neq 0$,则 S_i 站点与 S_j 站点可以直达,若 $v = \arg \min_k \{w_{i,j}^k\}$,则 $w_{i,j}^v$ 为 S_i 与 S_j 站点之间的最小直达距离,最优路径为 L_v 。

2)若 S_i 站点与 S_j 站点不可直达,根据站点映射网络图,记与 S_i 站点邻接的站点集合 $S'_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ik}\}$ 与 S_j 站点邻接的站点集合 $S'_j = \{S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{jl}\}$,若 $S'_i \cap S'_j \neq \emptyset$,则表示 S_i 站点与 S_j 站点转乘一次可到达,记 $S'_i \cap S'_j = \{S_{r1}, S_{r2}, \dots, S_{rp}\}$,则 S_i 与 S_j 可经 p 种方法到达,则 $d(S_i, S_j) = \min \{w_{i,r}^l + w_{r,j}^{l'}\}$, $L_l \in L, L_{l'} \in L'$,根据公交网络二分图, L 与 L' 分别为连接 S_i 与 S_r , S_r 与 S_j 站点的线路,其对应的路线为最优出行路线。

3)若 $S'_i \cap S'_j = \emptyset$,即一次转乘不可达,则检验 S'_i 与 S'_j 中有无可直达的两站点,若 $N(S_{ip}) \cap N(S_{jq}) \neq \emptyset$, $S_{ip} \in S'_i$, $S_{jq} \in S'_j$,则站点 S_{ip} 与站点 S_{jq} 之间有直达线路, $d(S_i, S_j) = \min \{w_{i,ip}^{l_1} + w_{ip,jq}^{l_2} + w_{jq,j}^{l_3}\}$, $L_{l_1} \in L_1, L_{l_2} \in L_2, L_{l_3} \in L_3$,其中 L_1, L_2, L_3 根据公交地铁网络二分图确定,且 L_1, L_2, L_3 分别为连接 S_i 与 S_{ip} , S_{ip} 与 S_{jq} , S_{jq} 与 S_j 站点的线路,其对应方案为最优出行方案。

调查表明,在一个成熟的公交地铁网络中,2次换乘可以实现绝大多数出发地与目的地之间的连接。

3.3 算法的复杂性分析

算法的复杂性用数据输入规模的函数度量。由站点集合 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 和公交线路集合 $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$ 组成的地铁公交网络,存储数据 $W = [w_{i,j}^k]_{n \times n \times m}$ 的规模为 n^2m 。但因为 W 为稀疏三维数组,占用存储空间大大减小。在能够直达的情况下,算法的计算量主要为检验向量的计算上,运算量为 $O(n^2m)$ 。在不能直达情况下的转乘问题的计算量主要为寻找转乘站点和转乘线路的计算上。寻找转乘站点实质是在站点映射网络上寻找从 S_i 到 S_j 的中间站点,可以在站点映射网络上采用经典最短路算法,如Dijkstra算法,运算量为 $O(n^2)$ 。在映射网络图上的求 S_i 与 S_j 的最短路的最小优化问题,实质是多阶段决策问题,可以用经典动态规划或最短路算法来求解,计算量为 $O(m^2)$ 。总体上,该算法总的计算量为 $O(n^2m)$ 。

4 算 例

选取由 4 条公交线路 L_1, L_2, L_3, L_4 , 1 条地铁线路 L_0 及 9 个站点组成的公交网络,如图 5,地铁线路 L_0 经 S_1, S_4, S_6 站点,线路 L_1 经 S_1, S_2, S_3 站点,线路 L_2 经 S_5, S_3, S_4, S_7 站点,线路 L_3 经 S_5, S_6, S_8 站点,线路 L_4 经 S_8, S_9 站点。其中 $N_1^0 = 1, N_4^0 = 7, N_6^0 = 10; N_1^1 = 2, N_2^1 = 5, N_3^1 = 11; N_5^2 = 6, N_3^2 = 9, N_4^2 = 12, N_7^2 = 16; N_5^3 = 6, N_6^3 = 9, N_8^3 = 13; N_4^4 = 4, N_9^4 = 9$ 。

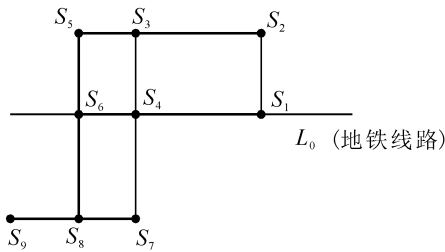


图 5 公交地铁网络

Fig. 5 Bus and subway network graph

如第 3 节中对标号的叙述,为达到优选地铁的目的,不妨将地铁线路上站点的标号根据实际情况缩小适当倍,这样可将整个公交网络系统一体化处理。而实际上的目的是使地铁线路上的乘车距离权值变小,即需将标号之间的差值成比例缩小。此例中 $N_1^0 = 1, N_4^0 = 7, N_6^0 = 10$,按照式 $w_{i,j}^k = |N_j^k - N_i^k|$,得 $w_{1,4}^0 = 6, w_{1,6}^0 = 9, w_{4,6}^0 = 3$ 。若将此权值 3 倍缩小可得出 $w_{1,4}^0 = 2, w_{1,6}^0 = 3, w_{4,6}^0 = 1$,其余公交线路上权值为 $w_{1,2}^1 = 3, w_{1,3}^1 = 9, w_{2,3}^1 = 6; w_{3,4}^2 = 3, w_{3,5}^2 = 3, w_{3,7}^2 = 7, w_{4,5}^2 = 6, w_{4,7}^2 = 4, w_{5,7}^2 = 10; w_{5,6}^3 = 3, w_{5,8}^3 = 7, w_{6,8}^3 = 4; w_{8,9}^4 = 5$ 。其余 $w_{i,j}^k$ 赋值为零。

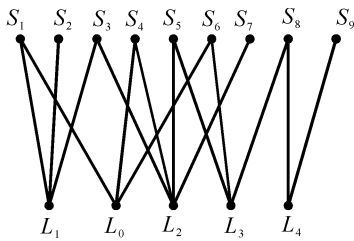


图 6 网络二分图

Fig. 6 Bipartite network

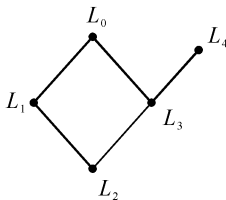


图 7 线路映射网络图

Fig. 7 Line mapping network

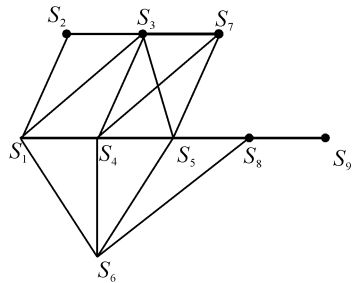


图 8 站点映射网络图

Fig. 8 Site mapping network graph

建立图 5 的公交地铁网络二分图,如图 6。图 7 为图 6 的线路映射网络图,图 8 为图 6 的站点映射网络图。

1) 考虑站点 S_2 到站点 S_3 的最短路问题,构造直达检验向量 $\alpha_{23} = W \triangleright e_2 \triangleright e_3$,可得到 $\alpha_{23} = (w_{2,3}^0, w_{2,3}^1, w_{2,3}^2, w_{2,3}^3, w_{2,3}^4)^T \neq 0$,若 $v = \arg \min_k \{w_{2,3}^k\} = 1$,即 $w_{2,3}^1 = 6$ 为最小直达距离, L_1 为所选乘车路线,途径 6 站。

2) 考虑站点 S_1 到站点 S_5 的最短路问题, $\alpha_{15} = W \triangleright e_1 \triangleright e_5 = 0$,即不可直达,根据站点网络映射图,如图 8,得到与 S_1 站点邻接的站点集合 $S'_1 = \{S_2, S_3, S_4, S_6\}$,与 S_5 站点邻接的站点集合 $S'_5 = \{S_3, S_4, S_6, S_7, S_8\}$,由于 $S'_1 \cap S'_5 \neq \emptyset$,表示 S_1 站点与 S_5 站点转乘 1 次可到达。又 $S'_1 \cap S'_5 = \{S_3, S_4, S_6\}$,则 S_1 站点与 S_5 站点可经 3 种 1 次转乘的方案到达, $d(S_1, S_5) = \min\{w_{1,3}^1 + w_{3,5}^2, w_{1,4}^0 + w_{4,5}^2, w_{1,6}^0 + w_{6,5}^3\} = \min\{9 + 3, 2 + 6, 3 + 3\} = 6$,对应最优路径为从 S_1 站点乘坐地铁线路 L_0 到达 S_6 站点,转乘公交线路 L_3 到达 S_5 站点,途经 6 站。

可看出,从 S_1 站点到 S_5 站点与从 S_2 站点到 S_3 站点都是经过 6 站地,而网络图中明显看出 S_1, S_5 站点的距离是远远大于 S_2, S_3 站点的距离,这是减少地铁站点标号的权值的结果。结果显示出地铁的优越性。

3) 考虑站点 S_4 到站点 S_9 的最短路问题, S_4 在线路 L_0 与线路 L_2 上, S_9 在线路 L_4 上, $\alpha_{49} = W \triangleright e_4 \triangleright e_9 = 0$,即不可直达, $S'_4 = \{S_1, S_3, S_5, S_6, S_7\}, S'_9 = \{S_8\}$, $S'_4 \cap S'_9 = \emptyset$,即 1 次转乘不可达。下面考虑 2 次转乘的情况,根据线路网络映射图, L_0 或 L_2 线路与 L_4 线路之间有 L_3 连接,即从 L_0 线路或 L_2 线路需转乘 L_3 到线路上,再转乘到 L_4 线路上。

根据网络二分图,可得: $N(S_1) = \{L_1, L_0\}$, $N(S_3) = \{L_1, L_2\}$, $N(S_5) = \{L_2, L_3\}$, $N(S_6) = \{L_0, L_3\}$, $N(S_7) = \{L_2\}$,而 $N(S_8) = \{L_3, L_4\}$,则 $N(S_5) \cap N(S_8) \neq \emptyset, N(S_6) \cap N(S_8) \neq \emptyset$,

即 S'_4 中的 S_5 站点与 S_6 站点可与 S_8 站点直达,而且它们分别都在 L_3 线路上,则可求得

$$d(S_4, S_9) = \min\{w_{4,5}^2 + w_{5,8}^3 + w_{8,9}^4, w_{4,6}^0 + w_{6,8}^3 + w_{8,9}^4\} = \min\{6 + 7 + 5, 1 + 4 + 5\} = 10$$

对应最优路线为从 S_4 站点乘坐地铁线路 L_0 到达 S_6 站点,转乘公交线路 L_3 到达 S_8 站点,再转乘公交线路 L_4 到达 S_9 站点,途径 10 站。

5 结束语

在文献[10]的基础上,将公交地铁进行一体化标号,缩小地铁两站点间的路径距离以达到优选地铁的目的。据乘客出行心理,依次以换乘次数少、出行距离短为优化目标,利用高维数组运算,根据公交地铁网络图与二分图、线路映射网络图、站点映射网络图得到两站点间的最优路径的选择算法。

公交网络的寻径问题一直以来被认为是 NP 难问题,而日益发达的公交系统对最优路径选择算法的要求也越来越高。因此,改进和创新算法在整个公交系统中至关重要。本文尚未将地铁的时变性考虑在内,可对此进一步研究,使得人们无论何时出行都有一个对应此时间点的方案,使查询更加精确可靠。

参考文献:

- [1] 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.
YAN Xiaoyong, SHANG Yanliang. Path-finding algorithm of public transport networks based on bipartite graph model[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(5): 246-248.
- [2] 梁虹, 袁小群, 刘蕊. 一种新的公交数据模型与公交查询系统实现[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(3): 234-238.
LIANG Hong, YUAN Xiaoqun, LIU Rui. Novel model and realization of public transport route inquiring system[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(3): 234-238.
- [3] 王海帅, 冀振燕, 王森. 公交线路查询算法[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(2): 88-91.
WANG Haishuai, JI Zhenyan, WANG Sen. Bus transport transfer algorithm[J]. Computer Systems and Applications, 2013, 22(2): 88-91.
- [4] 王昉昉, 于丽娜, 郑保华, 等. “集合燃烧”算法在公交网络查询中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报: 社会科学版, 2008, 10(4): 380-382.
WANG Fangyang, YU Lina, ZHENG Baohua, et al. “Aggregate-combustion” arithmetic and its application in the

query system of transit network[J]. Journal of Liaoning Technical University: Social Science Edition, 2008, 10(4): 380-382.

- [5] 伍雁鹏, 彭小奇, 杨恒伏. 改进的基于关系数据库技术的公交查询算法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2009, 40(3): 763-766.
WU Yanpeng, PENG Xiaoqi, YANG Hengfu. Improved algorithm based on relational database technology for querying transit network[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2009, 40(3): 763-766.
- [6] 刘健, 徐维祥, 刘旭敏. 公交出行最优路线查询系统设计[J]. 计算机应用, 2009, 29(S2): 110-112.
LIU Jian, XU Weixiang, LIU Xumin. Design of urban public transit optimal route inquiry system[J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(S2): 110-112.
- [7] 伍雁鹏, 彭小奇, 黄同成. 基于路径集合运算的公交网络寻径算法研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(6): 239-240, 272.
WU Yanpeng, PENG Xiaoqi, HUANG Tongcheng. Research on path set operation based algorithm for path searching in public transit network[J]. Computer Science, 2009, 36(6): 239-240, 272.
- [8] 刘作虎, 黄明和, 邹小云, 等. 一种网络公交查询系统的改进算法[J]. 计算机与信息技术, 2009, (4): 29-31.
- [9] 徐勇, 李杰, 张军芳, 等. 新型公交网络模型与最优线路选择算法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(11): 2234-2240.
XU Yong, LI Jie, ZHANG Junfang, et al. New urban transit network models and optimal path searching algorithm[J]. Systems Engineering—Theory and Practice, 2011, 31(11): 2234-2240.
- [10] 刘旭浩, 徐勇. 基于半张量积理论的公交网络查询[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2013, 10(1): 38-44.
LIU Xuhao, XU Yong. An inquiry method of transit network based on semi-tensor product[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2013, 10(1): 38-44.
- [11] 张林峰, 范炳全, 吕智林. 公交网络换乘矩阵的分析与算法[J]. 系统工程, 2003, 21(6): 92-96.
ZHANG Linfeng, FAN Bingquan, LÜ Zhilin. Transfer matrix of public transit network and algorithm[J]. Systems Engineering, 2003, 21(6): 92-96.
- [12] 程代展, 齐洪胜. 矩阵的半张量积理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] YAO Baozhen, HU Ping, LU Xiaohong, et al. Transit network design based on travel time reliability[J]. Transportation Research, Part C: Emerging Technologies, 2014, 43(3): 233-248.
- [14] 张译, 靳雪翔, 张毅, 等. 基于二分图的城市公交网络拓扑性质研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(7): 149-155.

ZHANG Yi, JIN Xuexiang, ZHANG Yi, et al. Topological analysis of urban transit networks using bipartite graph model [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2007, 27(7): 149-155.

[15] 王伟, 杨新苗, 陈学武. 城市公共交通系统规划方法与管理技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

作者简介:



徐勇,男,1971 年生,教授,博士,主要研究方向为复杂网络建模与优化。参与或主持省部级科研项目 10 余项,发表学术论文 30 余篇,其中被 EI 检索 10 余篇。



贾欣,女,1991 年生,主要研究方向为图论与交通网络优化。



王哲,男,1990 年生,主要研究方向为图论与交通网络优化。

2016 年 IEEE 计算智能世界大会

2016 IEEE World Congress on Computational Intelligence

25-29 July 2016, Vancouver, Canada

The IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI) is the largest technical event in the field of computational intelligence. The IEEE WCCI 2016 will host three conferences: The 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2016), the 2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2016), and the 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2016) under one roof. It encourages cross-fertilization of ideas among the three big areas and provides a forum for intellectuals from all over the world to discuss and present their research findings on computational intelligence.

IEEE WCCI 2016 will be held at the Vancouver Convention Centre, Vancouver, Canada. Vancouver is Canada’s Pacific gem, offering a winning combination of world-class hotels, meeting venues, and restaurants in a setting of spectacular beauty. Few convention cities can offer such a wide range of cosmopolitan amenities in a downtown core that is safe, clean, pedestrian friendly, and stunning in its backdrop of mountains and ocean.

IJCNN is the flagship conference of the International Neural Network Society and the IEEE Computational Intelligence Society. It covers a wide range of topics in the field of neural networks, from biological neural network modeling to artificial neural computation.

FUZZ-IEEE is the foremost conference in the field of fuzzy systems. It covers all topics in fuzzy systems, from theory to applications.

IEEE CEC is a major event in the field of evolutionary computation, and covers all topics in evolutionary computation from theory to applications.

Papers for IEEE WCCI 2016 should be submitted electronically through the Congress website at www.wcci2016.org, and will be refereed by experts in the fields and ranked based on the criteria of originality, significance, quality and clarity.

Find Us At:

www.wcci2016.org

wcci2016@gmail.com