

基于道路和公交超级网络的公交路径查询系统

杨忠振^{*1}, 于滨^{1,2}, 王琦¹

(1. 大连海事大学 交通工程与物流学院, 辽宁 大连 116026;

2. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 为了实现 GIS 数据库中道路网和公交线网的无缝连接以及方便快捷寻找两点之间的公交路径, 开发了基于道路和公交超级网络的公交路径查询系统. 该系统通过在 GIS 数据库中使用虚拟链接代替路由表, 将公交系统的信息存储在公交网和虚拟链接的属性中, 简化了数据结构. 由于该系统采用的拓扑结构具有一致性, 常规的最短路径算法可以不需要做调整和改造直接在系统中使用. 另外, 系统还可以通过对交通阻抗设置不同权重来实现用户对路径的个性化选择. 最后通过一个基于 MapInfo 的实例对该系统进行了检验, 结果显示该系统可以提高查询效率.

关键词: 超级网络; 公交网络; 优化路径; 最短路径算法

中图分类号: U491 **文献标志码:** A

0 引言

地理信息系统(GIS)是进行公交系统管理和智能化调度的高效平台. 对于现代化城市来说, 为出行者提供及时、可靠的公交信息是十分必要的. 目前的公交查询系统大致可以划分为如下几种类型^[1]: (1)通过公交公司提供的站点、票价、时间等信息建立公交路由表或连通性矩阵, 用户通过搜索路由表查询换乘信息; (2)采用基于 GIS 的用户界面, 并在 GIS 下构建公交网拓扑结构, 采用改进的最短路径算法进行查询; (3)在 GIS 下将道路网和公交网结合(通常的结合点为交叉口)建立混合网络, 其所使用的查询算法需要能够应用于该混合网络. 3种传统方法的共同缺陷主要有: (1)用户必须输入车站的大致名称; (2)只有在同名的站点间才能够实现换乘, 一些潜在的换乘和可行的路径可能会被忽略; (3)走行路线和换乘信息没有距离指标; (4)步行到达和离开公交站点的距离没有考虑在内; (5)需要两次以上换乘的路径基本上不被考虑; (6)使用的城市旅游图是比例尺很小的影像图, 显示的空间信息通常与实际情况有所出入. 其他的问题还有: 第一种查询方式所提

供的换乘信息不准确、不直观, 并且只能计算小于 3 次的换乘, 而另外两种方法的数据结构复杂, 路由表和系统维护困难. 为了克服这些缺点, 本文拟利用 GIS 的显示和空间计算功能、中等比例尺的城市数字地图开发一个新的公交查询系统.

1 公交路径查询平台构建

1.1 基于 GIS 的道路网和公交线路网

如图 1 所示, 本系统采用常规的方法在 GIS 中建立道路网和公交线路网.

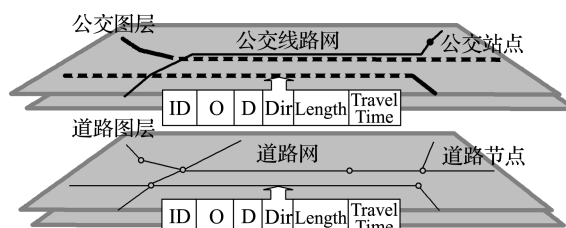


图 1 道路图层和公交图层

Fig. 1 Road layer and transit network

首先, 依据栅格图像建立道路图层, 在此基础上建立道路网的拓扑结构. 使用 GIS 的空间函数计算路网中链接的属性, 将其存储在路网层中. 利

用 GIS 中路段对象长度除以栅格图像的比例尺可以得到链接的 Length 属性(km). Travel Time 一项可以通过平均步行速度(5 km/h)和 Length 获得.

公交线路网是独立于道路网的一个图层. 首先,以道路图层的路段为基础建立公交线路,使公交线路与实际道路重合;然后,根据实际位置在公交线路层中设置公交站点,并在该点所在位置截断公交线路;最后拓扑公交线路和站点数据获得公交线路网. 公交线路网中 Link 的数据结构除 Travel Time 项以外与道路网中的 Link 一致. 而 Travel Time 属性的数值可以根据道路路况和交通工具的种类计算. 例如,在网络中有一条公交线路,这条线路的 Travel Time 项可以根据公交车的平均行驶速度(20 km/h)和距离来计算,即公交线路网的 Travel Time 属性的数值是道路层 Travel Time 的 1/4. 如果票价随乘车距离增长,还需使用时间价值指标将票价换算为时间指标. 制作公交线路网络时需要注意的是:(1)当多条公交线路在一条道路上的同一个位置有站点,不能将这些站点合并,而应该分别制作节点,每一条有站点的 Link 都将被自己的站点分隔,从而形成多条连接、互相平行(距离是零)的结构.(2)公交网中所有的线路都是单向的,道路网中的所有道路也应该转化为单向的 Link 来满足拓扑. 现实中一条线路的不同方向的往返线路可以表示成两个平行的、方向相反的 Link. 反向线路上站点的设置也不能合并,而要分别设置.

由于道路网和公交线路网都是基于栅格图像制作的,为了保证线网的准确度,最好使用高清晰的卫星图片或者航拍图片,以使查询的交通网络能与现实世界尽可能地接近,显示的查询结果才会准确. 在可能的情况下尽量利用公交公司和道路管理部门提供的数据来计算并设置道路网的 Length 和 Travel Time 属性.

1.2 道路-公交超级网络

由于两点间的公交路径包括步行的换乘部分,基于 GIS 的公交路径查询系统需要将道路网和公交线网统合成为一个超级混合网络^[2,3]. 以往的方法是将公交线路网的站点和道路网节点进行结合,即先在道路图层找到离公交站点最近的道路节点,然后将道路节点 ID 值传递给公交站点的 ID. 尽管这种方法在 GIS 下很容易实施,但也存在诸多弊端,例如:为了减少停车对交通的影响,公交站很少设置在交叉口附近,这种结合方式

的误差比较大;该方式给后续的分析 and 计算带来不便,在后续计算中需要将等车或换乘等阻抗用额外的矩阵或数据表存贮,在运用网络分析算法时,需要额外考虑这些矩阵和数据表,才能计算等车和换乘等阻抗,结果使算法变得复杂,不易于维护.

本系统使用图 2 所示的方式来构筑超级网络. 首先将公交图层中节点映射到道路图层上,并利用这些节点分割道路网中的 Link,使原有的一个 Link 变成数个 Link,然后利用公交站点连接被分割的 Link. 当多个映射下来的节点距离很近(<5 m)时,这种做法会导致超级网络结构的复杂化. 为了避免这个问题,可以将距离较近的公交站点合并成一个节点,使公交线路网上的公交站点和道路网的节点形成多对一的格局(图 3). 然后连接公交线路网上的公交站点和道路网上的节点(图 2、3)得到虚拟链接. 虚拟链接可以分成两种,从道路网出发的链接称之为“入链接”,从

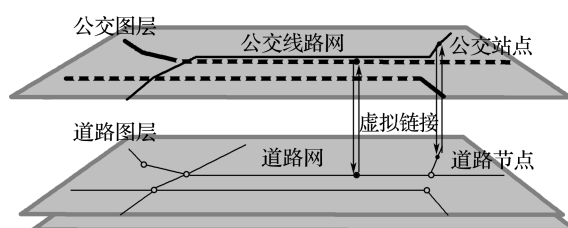


图2 道路网和公交线路网形成的混合网络模型
Fig. 2 Combined network integrating road and transit network

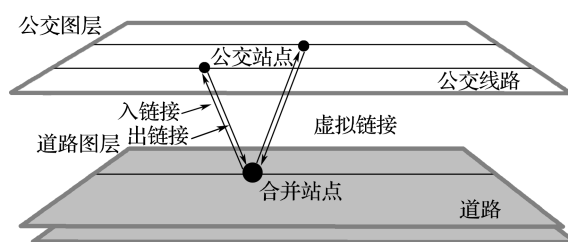


图3 放大的多站点拓扑图
Fig. 3 Topology graph of amplificatory multi-stops

公交线路网出发的链接称为“出链接”. 这两个链接具有现实意义,即“入链接”对应上车路径,“出链接”对应下车路径. 它们的 Travel Time 属性可以利用如下公式计算: $t_a = t_w + t_b + w \times t_c$, $t_e = t_d$. 其中 t_a 是“入链接”的 Travel Time 值;等车时间 t_w 利用公交公司提供的发车间隔计算,例如每 10 min 发一辆车,那么 t_w 等于 5 min; t_b 表示上车时从车站外到车厢内的时间; t_c 表示票价的等价时间,一般采用国民收入法计算

$\left[t_c = \frac{\text{票价} \times \text{法定年工作时间}}{\text{人均年收入}} \right]$; w 为权重, 用来

换算等价时间所占的比重, 如果用户不在乎乘车费用, 只想尽快到达目的地, 可以将 w 设置成 0; t_c 表示“出链接”的 Travel Time, 等于 t_d , 即下车时从车厢内到车站外所需的时间。

2 公交路径查询算法

本系统采用了全新的方式来统合道路网和公交网, 使得整个数据结构更加符合真实世界, 路径查询算法简单明了。本系统输入模块可以使用户利用 GIS 平台以人机对话的方式进行操作, 在此不做详细解释^[4~6]。本文主要叙述路径查询的分析方法和计算算法。

2.1 数据结构与权重设置

查询前首先要在内存中建立与算法相对应的网络数据结构。由于本系统中的超级网络是一个简单的图结构, 比较容易建立该网络的数据结构, 即只需将 GIS 下的节点和链接依次读入到内存中事先建立的表中即可。然后在设置网络图中链接阻抗时, 可以利用用户界面让用户设置各种链接的权重, 最后的阻抗值等于 Travel Time 与权重的积。例如用户带着行李想尽量少走路、少上下车和换乘, 他就可以将道路网的链接权重和虚拟链接的权重设置高一点, 这样读入的 Travel Time 乘以权重的值比较大, 用户查询后得到的路径中步行的距离和换乘的次数就会相应减少。

2.2 最短路径算法

以往的查询系统没有将公交线路网和道路网进行结构统合, 而以路由表或连通性矩阵为基础, 使用最短路径算法查找最优路径, 因此计算过程比较复杂。本研究中的超级网络是一个网络图, 可以直接应用标准的最短路径算法, 无需做任何更改。这里使用 Dijkstra 最短路径算法生成网络图中的最短路径。经过优化后, 该算法被应用在较大规模的网络图中的计算时间也不会超过 1 s, 基本上可以满足用户实时查询的需要。

2.3 计算结果

在该系统中, Dijkstra 算法得到的路径是超级混合网中的路径, 包括步行路径、乘车路径、换乘路径。图 4 显示一次计算结果中换乘部分的路径, 可以看出采用超级混合网络结构可以很好地解决换乘对整个行程的影响, 两点间的公交路径被自动分解成为“出链接—道路网—入链接”三个部分。在最短路径的计算过程中如果遇到站点, 由算法决定的计算过程必将搜索所有与该站点相连

的链接, 将最短路径树继续下去, 离“出链接”近的站点和公交网上的下一个站点首先会被考虑, 然后按照算法的步骤进行下去。对开发者而言无需考虑公交网络中换乘应该如何设置惩罚值, 只需按照现实世界来设置虚拟链接中的“入链接”和“出链接”, 计算最短路径时换乘会被自动考虑进去, 求出来的路径也一定是综合阻抗最小的路径。

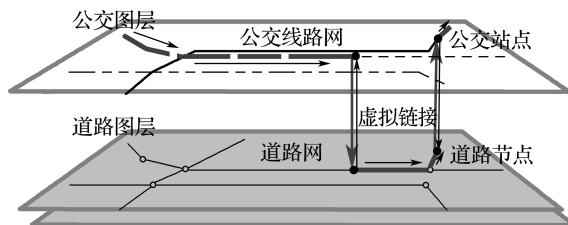


图 4 一次典型的换乘

Fig. 4 A typical transfer

系统的计算结果会以两种方式显示给用户：一种是在 GIS 平台上通过图形界面直观地显示；另一种是以文字的方式解释走行路径。如果 GIS 上的超级网络建立得准确, 并配以准确的栅格图像, 用户可以将结果打印出来随身携带。

3 计算实例

为了验证网络结构和算法的有效性, 在 MapInfo 平台上^[7], 建立如图 5 所示的 16×9 网格状的道路网, 每条连接的阻抗为 1 000。粗线表示的是另一个图层上的公交线路网, 它在每个道路网节点上都有车站, 每条链接的阻抗为 100。两个网上每条链接都是双向的, 且两个网已经通过虚拟链接合并成为了一个超级网络, 每条“入链接”的阻抗为 200, “出链接”的阻抗为 50。图 6 显示的是一次公交路径查询结果, 起点在左上角, 终点在右下角。黑色的粗实线表示的是查询的结果。从这个算例中可以看出结果与理论完全吻合, 最短路径算法在超级网络中算出的路径考虑了步

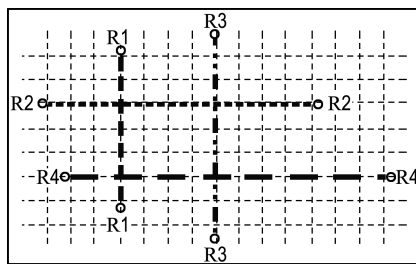


图 5 MapInfo 中合并后的网络

Fig. 5 Combined network in MapInfo

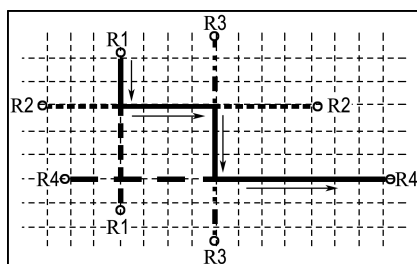


图6 一个算例

Fig. 6 An example

行、乘车和换乘在整个走行过程中的影响. 本研究还利用此网络试验了其他一些算例, 比如增加步行权重, 改变公交线路阻抗等, 运行结果都很令人满意.

4 结 语

本系统使用了更加接近于现实的方式连接道路网和公交网, 使得整个网络结构变得非常直观、简单和有效. 路径查询算法部分也因此而得以极大的简化, 采用通用的最短路径模块即可工作. 整个系统的维护和开发变得异常轻松. 用户在查询的过程中无需做过多设置即可准确地查到最佳的公交走行路径. 现阶段, 此系统只能提供静态的路径查询. 如果把系统与 ITS 的某些模块结合, 可以实现动态路径查询, 届时公交时间表、各个路段的交通状况等数据都可以实时更新, 从而为用户提供更加准确的最佳公交路径. 应用该方法还可以实现多路径计算. 这些都可以成为进一步的研究内容.

参考文献:

- [1] ZILIASKOPOULOS A, WARDELL W. An intermodal optimum path algorithm for multimodal networks with dynamic arc travel times and switching delays[J]. *European Journal of Operation Research*, 2000, **125**(3): 486-502
- [2] KONCZ N, GREENFELD J, MOUSKOS K. A strategy for solving static multiple-optimal-path transit network problems[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 1996, **122**(3): 218-225
- [3] SMITH B L. Using geographic information systems and the world wide web for interactive transit-trip itinerary planning[J]. *Journal of Public Transportation*, 2000, **3**(2): 37-50
- [4] TRÉ PANIER M, CHAPLEAU R. Linking transit operational data to road network with a transportation object-oriented GIS[J]. *URISA Journal*, 2000, **13**(2): 23-30
- [5] LIU C L, PAI T W, CHANG C T, *et al.* Path-planning algorithms for public transportation systems[C] // *Proceedings of the 4th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Oakland: IEEE, 2001: 1061-1066
- [6] LIU C L. Best-path planning for public transportation systems[C] // *Proceedings of the 5th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Singapore: IEEE, 2002: 834-839
- [7] MapInfo Corporation. *MapInfo Professional User's Guide* [M]. New York: MapInfo Corporation, 1995

A best path enquiry system based on road and transit combined network

YANG Zhong-zhen^{*1}, YU Bin^{1,2}, WANG Qi¹

(1. College of Transportation and Logistics, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A new GIS-based searching system is developed to seamlessly integrate transit networks into road networks in GIS and calculate the optimal path in the combined network between the origin and the destination. In the system, virtual links instead of connectivity matrix play a vital role in connecting two networks, and all factors that affect the travel plan are stored in the attributes table of the integrated network so that data structure can be simplified. Because of the uniformity of its network topology, the standard shortest path searching algorithm can be embedded and utilized without any modification. In addition, different weights of travel impedance in the system can be set to satisfy the individual choices of travelers. Finally, a case based on MapInfo indicates that the system is able to improve the efficiency of searching.

Key words: combined network; transit network; optimal path; shortest path searching algorithm