

Construction of Urban Public Transportation Network Update and Evaluation System Based on Multi-source Data Fusion

Xiangjun Cheng Cuanmin Lu Gong Chen Qiushi Shao Xianjie Sun

Zhongzi Data Co., Ltd, Beijing, 100089, China

Abstract

In intelligent public transport management, bus line network update, evaluation and optimization have an important impact on urban bus operation. The existing line network update relies on online data crawling, which is not conducive to the subsequent analysis of bus operation. Therefore, this paper combines multiple sources of data to establish a research framework for bus line network update and evaluation for bus line network optimization analysis. It includes a bus line network update method based on bus GPS data and road network data, which can improve the accuracy and efficiency of the update. A bus line network evaluation index system is proposed, which measures the service level of the bus line network from three perspectives: the structure of the bus line network itself, the efficiency of bus travel, and the accessibility of bus travel. In addition, we propose an evaluation method based on the entropy weight method, which can be used to compare and analyze the service level change characteristics of the bus network. We use Xiamen city bus as the research object, and we find that the route update algorithm improves efficiency by 40.4% while ensuring accuracy. The evening peak of Xiamen city traffic has the greatest impact on the service level of the bus line network. The service level of the bus line network differs significantly between weekdays and double-holidays. This study can provide suggestions for siting optimization of urban bus network and bus transportation scheduling to improve bus operation efficiency and service level.

Keywords

bus network update; bus network evaluation; line network remodeling; bus network optimization

基于多源数据融合的城市公交线网更新与评价体系构建

程向军 陆篡民 陈功 邵秋实 孙贤杰

中咨数据有限公司, 中国·北京 100089

摘要

智能公交管理中, 公交线网更新、评价以及优化对城市公交运行有重要的影响。现有线网更新依赖网上数据爬取, 不利于后续的公交运行情况分析。因此, 论文结合多源数据, 建立了一个公交线网更新与评价的研究框架, 用于公交线网优化分析。它包括一个基于公交GPS数据和道路网数据的公交线网更新方法, 可以提高更新的精度与效率。并提出了一个公交线网的评价指标体系, 它从公交线网自身结构、公交出行高效性、公交出行通达性三个角度度量公交线网服务能力。此外, 论文还提出了一个基于熵权法的评价方法, 可以用于对比分析公交线网服务水平变化特征。以厦门市公交为研究对象, 发现线路更新算法在保证精确性的同时提高效率40.4%。厦门市交通的晚高峰对公交线网的服务水平影响最大。工作日和双休日公交线网服务能力特征区别明显。本研究可以为城市公交线网选址优化以及公交运输调度提供建议, 来提高公交运营效率和服务水平。

关键词

公交线网更新; 公交线网评价; 路网重塑; 公交网络优化

1 引言

线网地图数据在智能交通系统(ITS)中扮演着重要角色, 是进行需求响应、路径规划等大量基础运算的数据基础。线网数据的获得方法可分为三大类: 通过测绘方式、通过数字图像提取^[1], 谭英嘉^[2]等基于公交历史数据开发了公交线网管理与优化平台, 为公交线网优化及设施改善提供参考依据。Wei等^[3]以原有公交线网及客流数据, 基于蚁群优化

对公交线网进行优化。但通过以上方法生成的矢量线网大多忽略了原有的路网数据, 由于原有路网数据的缺失导致公交线网生成效率低下; 此外, 目前对于GPS漂移数据的处理较为繁琐、精度较低, 存在一定的提升空间。因此, 本研究提出了一种融合多源数据的公交线网更新算法, 可有效提升GPS漂移数据的处理精度, 进而提高公交线网更新效率。

线网评价是线网更新后重要工作, 有利于实时检测公交线网服务水平。在现有研究中, 谢仲磊^[4]从乘客角度出发, 基于IC卡数据对公交线网服务水平进行了评价。Yang^[5]等应用可达性和公平性指标对公交线路进行评价。但是研究仅是从公交网络或是居民出行的单一角度出发, 并不能够全面

【作者简介】程向军(1991-), 男, 中国河南林州人, 硕士, 高级工程师, 从事交通信息化研究。

的评价线网的性能。因此,本研究综合了公交线网的结构特征、乘客出行的高效性和通达性,构建了公交线网评价指标体系,可以更准确地评价公交线网服务能力。

2 理论模型

2.1 基于多源数据的公交线网更新算法

由于目前已有算法在 GPS 漂移数据的处理和公交线网生成方面的效率较低,因此本算法对原有路网数据与 GPS 数据及 IC 卡数据进行充分融合,对输入的 GPS 数据进行清洗和精细化处理,充分提高 GPS 数据的数据质量,同时进行拆分,完成对 GPS 数据的处理;对原有路网进行打断和连接,完成对路网的重塑。将其与处理后的 GPS 数据匹配至重塑后的路网上,完成对公交线网的更新。

基于多源数据的公交线网更新算法的流程如下:

2.1.1 GPS 数据处理

对于 GPS 静态漂移数据进行去除,计算时间上相邻的两个 GPS 点位之间的距离,设定判定距离 L 为 10m,设定判定时间 T 为 5min。根据 Harvsine 公式计算时间上相邻的两 GPS 点位之间的距离 l_{ij} ,若两点位的距离 $l_{ij} < 10m$,则提取两 GPS 数据的时间戳,记为 t_i 和 t_j ,判定在 $(t_i - T - t_j + T)$ 及 $(t_j - T - t_i + T)$ 时间范围是否具有数据,若没有,删除该点位的 GPS 数据;将同一 GPS 设备号的数据取出,按照时间排序后,对处理后的 GPS 数据按照 MCUID 进行拆分,将数据集 A 按照时间进行排序号,根据公交车上下行对数据集 A 进行分组,得到一日一辆车同一方向轨迹点数据集 B 。

2.1.2 线网重塑

首先对线网进行打断,将各路段分解为复数 tuple 数据组成的表数据,统计线网中全部路段的点得到统计表 $K: V$ 。若 $V_k \geq 1$,则在 K 点将路段切分为 V_k 条新的路段。再对打断后的线网进行连接:将路段端点分为:“头部-头部”“头部-尾部”“尾部-头部”“尾部-尾部”重和四种类型,将研究区域内道路整合。按照四种情况分别判断两段线路是否相接。判断开始时选择一段路段作为根路段,之后随着路段的连接不断更新根路段。完成对公交线网的重塑。

2.1.3 公交线网生成

通过 GPS 精细化处理之后的 GPS 数据集可进行线网匹配处理,首先,提取城市路网数据中有关交叉口的坐标点,

分别记为 $(x_{c1}, y_{c1}), (x_{c2}, y_{c2}), \dots, (x_{cn}, y_{cn}), \dots, (x_{cn}, y_{cn})$; 将所有路段被记录次数记为 0, 表达为 $C(c_i, c_j) = 0$ 。 ($i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$) 将精细化处理后得到的 GPS 数据点按照时间先后进行排序。计算将 (x_i, y_i) 点合围的四条城市路段,分别计算点到四条路段的最短距离记为 d_k , 记 $d = \min(d_k)$, 将 d 所对应的路段 $C(c_i, c_j) = 1$, 对所有 GPS 数据进行如上操作。最终,统计 $C(c_i, c_j)$, 若 $C(c_i, c_j) > 1$, 则对应的路段 (c_i, c_j) 为公交线网生成路段。

2.2 基于熵权法的公交线网评价指标体系

熵权法的基本思路是根据指标变异性的的大小来确定客观权重,若指标的信息熵越小,表明变异程度越大,提供的信息量越多,在综合评价中所能起到的作用也越大。运用熵权法可以精确识别公交线网的变化特征,论文从公交线网自身结构、公交出行高效性和公交出行通达性三个方面选取 8 个子指标构建公交线网服务能力评价指标体系如图 1 所示。

其中运输能力均匀度为所有线路的公交运输能力的均匀程度,计算公式为:

$$x_8 = -\sum_i \frac{n(i)}{N} \cdot \ln\left(\frac{n(i)}{N}\right) \quad (1)$$

其中, $n(i)$ 为班次为 i 的线路数; N 为公交线网总线路数。运输能力均匀度越大,各个线路间运输能力差距越小,乘客出行时各条路线可达性越接近。

3 案例分析

3.1 数据基础

论文使用的厦门市路网数据共有 27231 段。原始数据包括各个路段的起终点经纬度、路名、道路所在栅格编号。论文选取了 2023 年 1 月 1 日到 1 月 7 日的全市运营车辆的轨迹数据合计 886761540 条记录。字段包括车辆设备 ID、速度、线路号、上下行标识、车辆编号、车辆 GPS 轨迹列表。

3.2 线网更新

我们先对厦门市道路网进行重塑处理,包括路段连接和路段打断两部分。与原始道路网对比,重塑后的路网拓扑特征几乎没有改变。但是道路网从初始的 27231 段到 16224 段,减少了 40.4%。路网重塑方法在不改变使用性能的前提下,可以有效得降低算法运行成本。

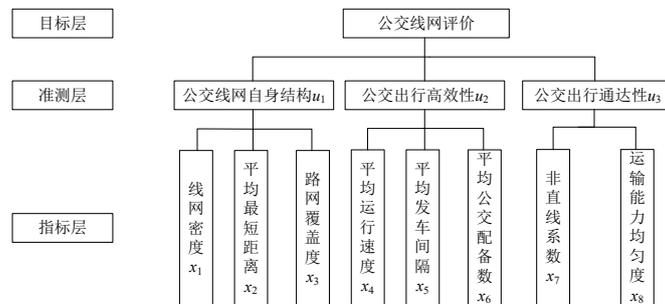


图 1 公交线网评价指标体系

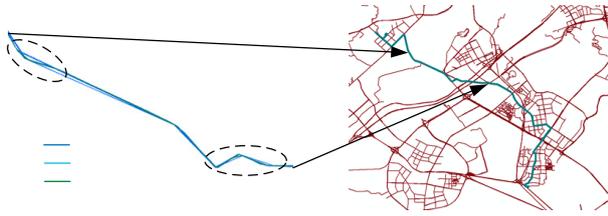


图 2 GPS 匹配示意图

我们以 929 路为研究对象，图 2 展示了不同算法下产生的其 GPS 点精细化处理结果以及 929 路在路网中得匹配结果。经精细化处理，一段适量轨迹线上的 GPS 点数量大大减少。将 GPS 生成得线路轨迹在路网中匹配，可以精准地识别公交线路实际运行轨迹，我们发现论文提出的公交线网更新方法可以极大地缩小常规线网的更新成本。

3.3 线网评价

为了研究公交线网服务水平的时变特征，从一周的角度对公交线网进行评价分析。

公交平均运行速度随着时间推进呈下降趋势。表 1 和图 3 分别展示了厦门公交运行一周的指标和评价得分变化。平均发车间隔在星期二到星期五之间明显较小，由于工作日公交出行需求大，需要缩短发车间隔。星期二到星期五厦门市的平均公交配备数与运输能力均匀度较低，休息日时较大。这是因为工作日的出行主要是通勤出行，这些线路配备的公交车辆数大、运输班次也多。双休日出行需求分布均匀。

因此双休日厦门公交运输能力分布更均匀。

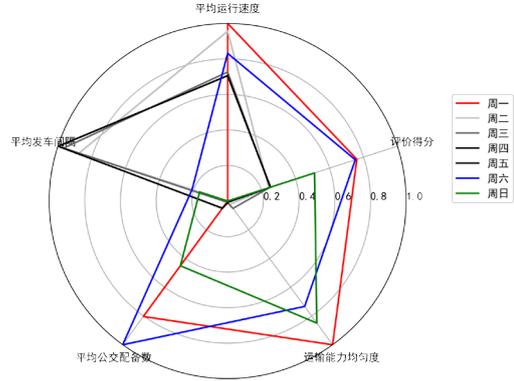


图 3 一周内公交线网指标变化

4 结论

论文基于多源数据构建了公交线网的更新方法，并建立公交线网服务能力的评价指标体系采用熵权法进行评价。论文以厦门市公交线网为研究对象，进行公交线网的更新研究与评价分析。研究表明，我们的公交线网更新方法性能出色，在保证精度的同时可以实时的更新公交网络并大大减少计算成本。同时基于厦门市公交线网评价结果，我们可以发现厦门市公交运营特征，为厦门市公交发展提供改善建议。此外，引入乘客出行数据建立公交线网评价指标体系也是可以进一步研究的方向。

表 1 一周内公交线网指标变化表

	路网密度 (km/km ²)	平均最短距离 (km)	路网覆盖度 (km/km)	平均运行速度 (km/h)	平均发车间隔 (min)	平均公交配 备数	非直线 系数	运输能力 均匀度	评价 得分
星期一	4.131	0.452	0.625	25.150	10.579	6.671	2.698	3.002	0.760
星期二	4.131	0.452	0.625	25.126	8.348	5.068	2.698	2.265	0.242
星期三	4.131	0.452	0.625	25.005	8.116	5.083	2.698	2.286	0.250
星期四	4.131	0.452	0.625	24.994	8.034	5.168	2.698	2.253	0.252
星期五	4.131	0.452	0.625	24.903	8.027	5.197	2.698	2.247	0.239
星期六	4.131	0.452	0.625	25.061	10.045	7.064	2.698	2.801	0.752
星期日	4.131	0.452	0.625	24.621	10.158	5.967	2.698	2.888	0.512

参考文献

[1] 任建平.利用高分辨率遥感影像提取城市路网信息[D].兰州:兰州大学,2018.

[2] 谭英嘉,郭莉,利敏怡.基于GIS的公交线网管理与优化系统开发与应用[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会.2016年中国城市交通规划年会论文集.2016:1378-1386.

[3] Wei Yuanyuan, Jiang Nan, Li Ziwei, et al. An Improved Ant Colony Algorithm for Urban Bus Network Optimization Based on Existing Bus Routes[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information,2022,11(5).

[4] 谢仲磊.基于IC卡数据的公交线网评价[J].交通标准化,2013(21):124-126.

[5] Yang, Seon-Kyu, Chang,Hyun-Bong. Evaluation of Bus Routes Network Considering Accessibility and Equity —The Case of the Metropolitan Daejeon[J]. Journal of Korea Planning Association,2012,47(2).