

一种棋盘形路网中的 公交环线网规划方法

陈琦 姚鹏 毕煦东

西南交通大学, 交通运输与物流学院, 成都 610031

摘要: 公交线网规划是公交系统设计的关键, 较大程度上决定公交系统的运行状况。本文针对现有公交线网客流量不均衡、平高峰转换迟缓、非直线系数较大等问题, 以棋盘形路网为研究范围, 提出一种在棋盘形路网下的环线布置思路。该方法用环线交错覆盖路网, 首先在设定的换乘系数约束下满足直达客流, 然后在约束条件下对线网局部到整体进行修正, 从而完成整个线网的初步布设。最后考虑从不同目的和角度出发修正得到的公交线网, 最终比选得到最优方案。

关键词: 交通工程; 公交线网规划; 环形公交线网; 棋盘形路网

中图分类号: U491.2*1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2013)02-0095-07

A Circular Bus Network Planning Method in a Chessboard-shaped Road Network

CHEN Qi YAO Peng BI Xu-dong

School of Transportation and Logistics, Southwest
Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: Bus route planning is the key to the design of public transport system, it determines the operation status of public transport at a large degree. For the existing bus network traffic problems, such as that the bus traffic is not balanced in both pace and time, flat-peak conversion is slow, non-linear coefficient is high, a circular bus network planning method in a chessboard-shaped road network was put forward in this paper. First, it meets the need of the direct passenger under the default transfer coefficient constraints, then revises the network from part to integrality under the constraints, and get the whole bus network. According to different purposes, different option should be compared each other, and the optimal one is gained at last.

收稿日期: 2012-06-12.

作者简介: 陈琦(1989-), 男, 汉族, 河南省郑州市人, 西南交通大学交通运输与物流学院硕士研究生, 研究方向为交通数据采集。

Key words : Traffic engineering , bus network planning , circular bus network , chessboard-shaped road network

0 引言

公共交通是城市发展的必然产物。随着我国近年来经济的快速增长和汽车保有量的迅速增加,城市道路交通问题成为了一个阻碍各大城市进一步发展的屏障。目前很多城市投入了大量精力发展公共交通,虽然公共交通基础设施水平得到了显著提高,但线路和运营的合理性仍有待进一步改善。公交线网的规划和优化^[1],可以在较低的成本下,有效提高居民的公共汽车出行效率,减少绕行距离、候车时间、换乘次数。公交线网的形成和城市形态、业态、路网结构、居民出行习惯等多方面的发展和变动密切相关。

本文提出一种在棋盘形路网下的公交环线布置思路。用矩形环线交错覆盖路网,首先在设定的换乘系数约束下满足直达客流,然后在约束条件限制下对线网局部到整体进行修正,从而布设整个线网。整体上看,该方案公交线网布设形式简单,均为矩形环线,区域线网覆盖较高。

该方案相较于传统公交线网的优点在于:对公交出行者来说,可达到线路非直线系数最小,公交换乘的便利性高,公交出行者的线路选择自由程度大;对于公交运营者来说,公交车辆在平峰、高峰时段的调配更加便利,枢纽站周边路网的交通压力较小。本方案适用于中等范围内的公交网络布置。区域内可基本实现原地换乘,一次以内换乘可达性高。区域内公交换乘较传统公交线网更为方便,居民公交出行自由度更大。

本研究假定待规划区域内的公交出行 OD 矩阵已知,路网为规则棋盘形路网。

1 规划目标

线网规划模型中,规划目标是根据公交出行者、公交运营者的总体利益进行考虑的,其中公交

出行者总体利益包含的因素有:直达客流量、公交可达率、换乘便利程度、乘车时间、票价等;公交运营者的总体利益是收益与综合运营成本的差,即利润,包含的影响因素较多,它主要有:载客率、票价、车辆利用率、完成客运量等^[2]。

针对于棋盘形路网上的公交线网,本文设计了一种公交环线的设置方法来实现规划目标:首先根据 OD 调查数据,满足预设比例的直达客流,初步布设主干线网,由于采用环线布置,因此满足了非直线系数的最小;在此基础上布设线网,并根据实际情况和需求对线网覆盖率、复线系数以及站点位置进行修正,得到不同约束、不同需求下的备选方案集;最后以公交出行者总体利益、公交运营者利益为目标函数,采用多目标决策的方法,对备选方案的目标函数值进行评价,比选择优最终确定线网。

2 环线布设方法

首先确定公交出行小区,将每一个公交车站的服务区域近似作为一个小区,公交车站所在位置称为小区的形心。由于今后计算中小区间距离、出行路径等都是考虑从小区的形心到形心,所以没有必要明确划定小区的边界。

2.1 公交站点设置

在规则棋盘形路网内,假定各条道路均可布设公交线路。公交站点的选取应结合道路两侧土地利用性质、公交乘客的发生量来进行。对于出行发生较为集中的地方应设置站点,如学校、医院、车站、大型超市等^[4]。

对于棋盘形路网,交叉口是各个方向客流集散和换乘的关键点,适宜设置公交站点。为尽可能减少对交叉口的影响,公交站点应设置在交叉口出口道,主干路上距停车线至少 100m,次干路至少 70m,支路最少 50m^[5]。

2.2 直达客流线路布设

考虑换乘系数和线路长度约束条件，首先满足主要客流的直达性。设定应达到全网换乘系数为 θ ，在一次换乘可达率 100%的情况下，表示直达客流量比例为 $2-\theta$ ，线路长度为 l 。

每一公交出行小区产生和吸引的乘客量，一般由该小区内的公交站点运送。对于规则的棋盘形路网，其干路交叉口处公交站往往位于该小区中心，将该公交车站的服务区域近似作为一个小区，公交车站所在位置称为小区的形心^[6]。对于路网较密集的小区，其内部可能有多个交叉口以及公交站点，在初步布设线网时可以取较接近小区中心的一个交叉口进行考虑（如图 1 所示，对小区内 J 点进行考虑），并在后边的线路修正过程中将公交线路分配于该小区内其他路段。由于小区形心与公交站点位置近似重合，因此公交干线线网布设时以交叉口位置近似代替公交站点位置，路网及公交出行小区如图 1 所示。

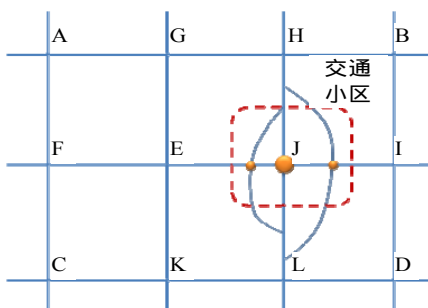


图 1 路网示意

Fig.1 Road network

图中小区 OD 编号也代表该小区中心交叉口编号。将公交出行 OD 矩阵表进行转置相加，得到各个小区间的出行总量。将各小区间的公交出行量按降序排列为 Q_k ， Q_k 的两个点分别记为 L_k^A ， L_k^B 。每对 OD 点记为一组 (Q_k, L_k^A, L_k^B) ，分别对应其在棋盘形路网中的二维坐标 L_k^{Ax} ， L_k^{Ay} 和 L_k^{Bx} ， L_k^{By} 。从 Q_1 开始令其中 $2-\theta$ 比例的交通量满足直达要求。

具体操作方法为：

从 Q_1 开始，依次向交通量较小的 Q_k 取值。每

规划完一条线路，将该条环线所包含的 OD 点对从公交出行 OD 矩阵中划去：

$$(1) \text{ 若 } \begin{cases} L_k^{Ax} \neq L_k^{Bx} \\ L_k^{Ay} \neq L_k^{By} \end{cases}, \text{ 即 } Q_k \text{ 的两个端点不位于同一}$$

条线上，考虑线路长度约束条件：

若满足线路长度约束条件则设置环线 C_i ，分别以 L_k^A ， L_k^B 为矩形环线对角线。

若不满足线路长度约束条件，进行步骤(4)，方法如图 2 中 (a) 所示。

(2) 若 $L_k^{Ax} = L_k^{Bx}$ ，即 Q_k 的两个端点位于同一条纵向线上，那么继续考虑 Q_{k+1} （同样对于 $L_k^{Ay} = L_k^{By}$ 进行判断）：

$$\text{若 } \begin{cases} L_k^{Ax} = L_k^{Ax} \\ L_{k+1}^{Ay} \max(L_k^{Ay}, L_k^{By}) \text{ 或 } L_{k+1}^{Ay} \min(L_k^{Ay}, L_k^{By}) \end{cases},$$

即 Q_k 和 Q_{k+1} 的 4 个端点位于一条折线上，且可以被一个环线所覆盖，那么考虑线路长度约束条件，参照步骤 (1) 设置环线 C_i ，如图 2 中 (b) 所示。

若 $\begin{cases} L_k^{Ax} = L_{k+1}^{Ax} \\ L_k^{Bx} = L_{k+1}^{Bx} \end{cases}$ ，即 Q_k 和 Q_{k+1} 的 4 个端点位于一条直线上（同样对于 $\begin{cases} L_k^{Ay} = L_{k+1}^{Ay} \\ L_k^{By} = L_{k+1}^{By} \end{cases}$ 进行判断），那么继续考虑 Q_{k+2} ，重复步骤(2)。

(3) 计算表中还未划去的小区间交通量所占比例，若小于 $\theta-1$ ，停止算法，否则继续。

(4) 取 Q_{k+1} ：

$$\text{若 } \begin{cases} L_{k+1}^{Ax} \neq L_{k+1}^{Bx} \\ L_{k+1}^{Ay} \neq L_{k+1}^{By} \end{cases}, \text{ 如图 2 中 (c)，继续步骤(4)}$$

取 Q_{k+2} 。

若 $L_{k+1}^{Ax} = L_{k+1}^{Bx}$ （同样对于 $L_{k+1}^{Ay} = L_{k+1}^{By}$ 进行判断）即 Q_{k+1} 的两个端点位于同一条线路上：

(a) Q_{k+1} 和 Q_k 走向平行，那么同步骤(1)进行环路设定，如图 2 中 (d) 所示；

(b) Q_{k+1} 和 Q_k 走向垂直，那么转向步骤 (5)；

(5) 当新取得的 OD 点对 L_{k+1}^{Ax} 和 L_{k+1}^{Bx} 位于同一条线路时（同样对于 L_{k+1}^{Ay} 和 L_{k+1}^{By} ），进行如下判断：

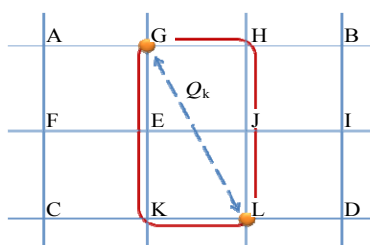
$$\text{若 } \begin{cases} L_k^{Ax} = L_{k+1}^{Ax} = L_{k+1}^{Bx} \\ L_k^{Ay} \max(L_{k+1}^{Ay}, L_{k+1}^{By}) \text{ 或 } L_k^{Ay} \min(L_{k+1}^{Ay}, L_{k+1}^{By}) \end{cases}$$

即可以在一个环线内同时包括 Q_k 和 Q_{k+1} , 那么同步步骤 (1) 方法考虑线路长度, 设置环线 C_i 。

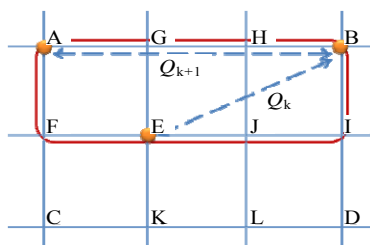
$$\text{若 } \begin{cases} L_k^{Ax} = L_{k+1}^{Ax} = L_{k+1}^{Bx} \\ \min(L_{k+1}^{Ay}, L_{k+1}^{By}) \quad L_k^{Ay} \max(L_{k+1}^{Ay}, L_{k+1}^{By}) \end{cases} ,$$

即一个环线内无法同时包括 Q_k 和 Q_{k+1} , 那么跳过 Q_{k+1} , 取 Q_{k+2} 重复步骤(4)。

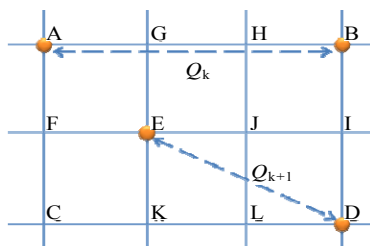
该步骤如图 2 中 (e), (f) 所示。



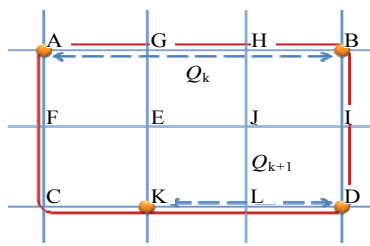
(a)



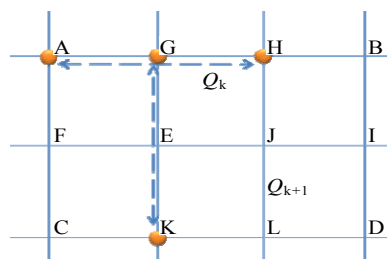
(b)



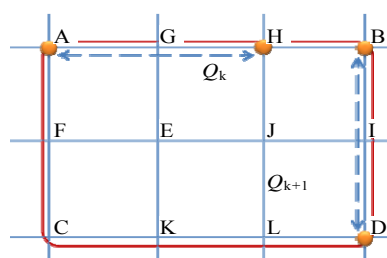
(c)



(d)



(e)



(f)

图 2 线路布设方法

Fig.2 Setting method of a bus route network

(6) 从表中划去包含在环线内的 OD 点对。为保证公交出行的非直线系数最低, 每次从环内划去的 OD 点应满足: 至少有一个点位于环线的转角处。如图 3 所示, 图中 EK、JL 两点间的交通量不能从出行矩阵表中划去。

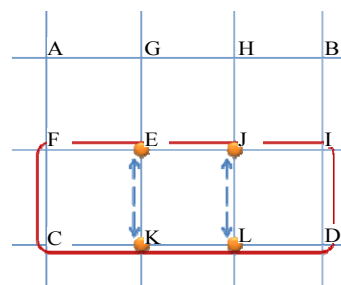


图 3 不能从出行矩阵表中划去的 OD 点对

Fig.3 The OD pairs that can not be wiped off from the OD table

2.3 公交环线网修正

(1) 线网覆盖修正

上述布设方法确定了棋盘形路网的干线公交线路形式, 但在路网内可能仍有部分干路未被公交覆盖, 需要综合线路长度约束以及换乘客流量进行

线路布设，保证公交客流量大的路段都能被公交线网覆盖。

(2) 线路重复修正

由于研究范围的中心区域交通量大，道路资源紧张，因此线路重复修正主要针对该区域。对于中心区域，由于客流量过大而造成线路重复系数较高的，为了将中心区域的过境客流向外围引导，可将中心区域的环线调整为单线式线路，绕过中心客流集中区域。

(3) 一次换乘可达率修正

在满足换乘系数 θ 条件下，已完成初始线网，这时 OD 表中每一对可以直达的 OD 值已经划去，余下不能直达的 OD 点对。对各个 OD 点对进行检验是否能够满足一次换乘到达，若不能满足一次换乘到达则进行线路修正。

2.4 公交车环线运行分析

(1) 枢纽站

公交环线网络的设立在一定程度上弱化了枢纽站的作用和客流量，减轻了枢纽站周边路网的交通压力。对于起终点枢纽站，可设置在交通量较重的区域外围道路，基本同传统公交线网的起终点枢纽站布置一致；对于换乘枢纽站，由于公交环线网络的换乘不同于传统单线式公交网络，换乘站在路网中分布较均匀，不需要在区域中心地带设置大型换乘枢纽站。

(2) 走行路线

公交车辆在环线上可设置双向运行。对于某些单行路段或者禁左交叉口，可以设置单向运行。传统公交线路在单行路段上或禁左交叉口处，需要设置公交专用道或公交专用相位，会在一定程度上造成交通资源浪费；必要时需要对禁行方向的公交车改线运行，又会导致线路管理的困难加大。

3 实例分析

如图 4 所示为某区域的交通分区和道路网络情况，公交出行 OD 表如表 1 所示。

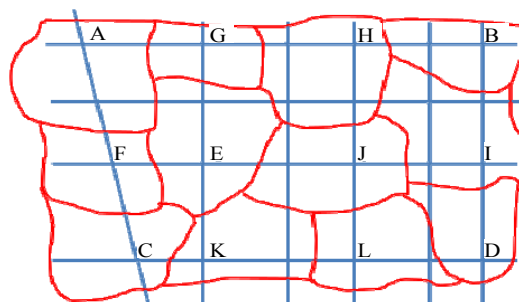


图 4 某区域交通分区与道路网络

Fig.4 Road network and traffic zone

字母编号表示各公交出行小区形心，即是公交站点位置。各个小区间的公交出行 OD 数据如表 1 所示。

表 1 公交出行 OD 量

Tab.1 OD volume of bus trip

O/D	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Σ
A		347	501	763	347	201	39	112	31	142	23	59	2 565
B	357		491	801	377	108	51	67	39	80	28	77	2 476
C	511	501		691	401	111	62	73	62	96	33	41	2 582
D	758	799	701		701	231	128	141	72	121	39	103	3 794
E	350	381	421	684		38	111	38	47	62	58	41	2 231
F	202	108	123	241	128		41	32	16	81	34	56	1 062
G	41	50	52	132	40	39		28	13	16	21	60	492
H	108	70	67	150	41	36	27		14	18	28	30	589
I	38	40	61	61	58	18	14	15		21	28	29	383
J	150	79	101	128	73	79	15	19	20		29	41	734
K	28	30	23	42	39	41	20	28	25	28		21	325
L	61	80	39	113	79	50	51	25	27	39	24		588
Σ	2 604	2 485	2 580	3 806	2 284	952	559	578	366	704	345	558	

运用上文所述方法进行公交干线网络布设，将公交出行 OD 矩阵表进行转置相加，得到各个小区

间的出行总量，如表 2 所示。

表2 公交出行小区间交通量

Tab.2 Traffic volume between bus trip districts

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Σ
A		704	1 012	1 521	697	403	80	220	69	292	51	120	5 169
B			992	1 600	758	216	101	137	79	159	58	157	4 961
C				1 392	822	234	114	140	123	197	56	80	5 162
D					1 385	472	260	291	133	249	81	216	7 600
E						166	151	79	105	135	97	120	4 515
F							80	68	34	160	75	106	2 014
G								55	27	31	41	111	1 051
H									29	37	56	55	1 167
I										41	53	56	749
J											57	80	1 438
K												45	670
L													1 146
Σ													

上文所述方法，首先满足一定比例的直达客流，设定换乘系数 θ 为 1.3，则直达客流量为 70%，得到初始线网，如图 5 所示。对该线网进行修正，得到备选线网如图 6 所示。由于测试路网规模较小，

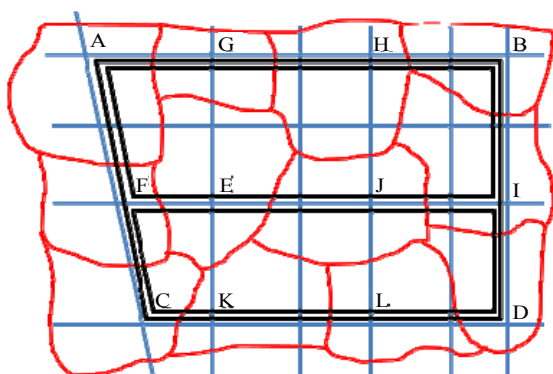


图5 初始线网

Fig.5 Initial network

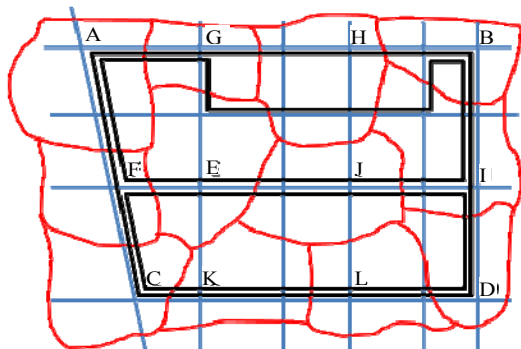


图6 修正后线网

Fig.6 Revised network

修正方案少，因此可直接得到最优线网（见图 6）。经检验该线网直达客流量达到 97.6%，一次换乘可达率 100%，非直线系数达到最小。

4 总 结

改进传统公交线网规划方法多以“逐条布设，优化成网”的思路进行设计^[6]，这样可能导致公交出行非直线系数较高，换乘系数难以保证，高峰期间线路的不同路段乘客量分布极不均衡，平高峰转换迟缓等问题。

本线网规划思路以换乘系数为控制条件，所有线路均为矩形环线，保证了非直线系数最小。互相嵌套的环线大大提高了车辆的调度自由度，弱化了枢纽站的地位，减轻了枢纽站周边路网的负荷；线路不同路段乘客分布相对均衡，乘客出行可选择路线更加多样化、自由化。该方法量化指标，适合计算机辅助设计。

同时该方法也存在一些较难解决的问题：潮汐交通明显的线路，同一条线路上客流分布不均衡；由于弱化枢纽站，导致中心站规模小、位置分散，不便于管理，早晚收发车车辆空驶距离较长。

在今后的研究中将重点解决线网修正方法的具体步骤、车辆运行方式、高峰时间偶发事件的车辆调度方法。

模型的制作,该设计的安全性和可靠性都得到了检验。车窗可以在3s内有效的开启,为乘客提供可靠的逃生通道;火灾隐患监测预警器可以实时地对公交车内可燃气体和烟雾情况进行监测,发生危险时及时向司机和乘客发出预警信息,确保公交车运营

安全。结合GSM技术的应用可以迅速地将公交车事故信息传输到公交车指挥中心,及时的开展救援工作。此设计配合现有的公交车安全设施,将最大程度地保障乘客的人身和财产安全,有着较高的可靠性和实用性。

参考文献

- [1] 肖贵平,朱晓宁.交通安全工程[M].北京:中国铁道出版社,2007.
- [2] 李振杰.机械制造技术[M].北京:人民邮电出版社,2009.
- [3] 吴建荣.工程力学与机械设计基础[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [4] 陈玖玖.可燃性气体检测报警器的研制[D].吉林:吉林大学,2007.
- [5] 沈宏卫.单片机应用系统设计实例与分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.

(中文编辑:刘娉婷)

上接第100页

参考文献

- [1] 李淑庆,滕宏伟,岳顺,穆首玉.城市公交现状问题分析与线网布局规划模式研究[J].重庆交通学院学报,2006,25(2):89-90.
- [2] 郭孜政,姜梅,张殿业,段力.点-域匹配的公交主干线网规划方法[J].交通运输工程学报,2008,8(6):78-79.
- [3] 李江.交通工程[M].北京:人民交通出版社,2002:232-239.
- [4] 毛琳.城市新区公交线网规划研究[D].西安:长安大学,2009:36-37.
- [5] 杨晓光,白玉,马万经.交通设计[M].北京:人民交通出版社,2010:154.
- [6] 王炜.实用公交线网规划方法研究[J].东南大学学报,1990,20(4):81-87.

(中文编辑:刘娉婷)