

文章编号: 1001-4632 (2013) 03-0128-05

基于客流预测的铁路旅客列车票额智能分配方法

王洪业¹, 吕晓艳¹, 周亮瑾¹, 游雪松²

(1. 中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所, 北京 100081;

2. 铁道部 运输局, 北京 100844)

摘要: 以全路客票发售与预订系统中的客票数据为基础, 将列车发售的客票数据转换成客运量时间序列数据, 采用基于改进的移动平均时间序列分析法, 实现列车逐日分席别的站站客流预测。综合考虑票额裂解因素、票额保护因素和客流培养因素, 建立站间票额数量调配模型; 以站间的票额分配数裂解票额时使用的长途票额最少为目标函数, 建立席位占用优化模型; 由这 2 个模型组成票额智能分配模型, 通过模型求解得到票额预分方案。实例应用结果表明, 采用该方法可以实现票额的自动、快速、合理、有效地按需分配, 目前该方法已应用于中国铁路客票发售与预订系统。

关键词: 票额分配; 客流预测; 票额裂解控制系数; 票额保护系数; 客流培养系数

中图分类号: U293.12 文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1001-4632.2013.03.21

铁路旅客列车票额分配是在铁路运能不能满足运量需求的情况下实施的一种重要的客流组织方法^[1-3]。票额分配是以旅客列车运行图为基础, 以旅客列车开行方向上的客流分布为依据, 根据列车编组和停站时刻, 完成线路方向上旅客列车在经由停车站软(硬)、卧(座)票额的分配以及各种指标的计算^[4]。票额分配的好坏直接影响列车沿途停靠车站的收益。

既有的票额分配方法是在列车运行图变化后, 客运管理人员参考历史数据和历史票额分配方案, 根据新的列车运行图, 对列车沿途停靠站进行票额分配。因此, 可能出现车站票额与车站需求不匹配的现象^[4-5]。并且, 人工将分配方案录入计算机, 工作量大, 容易出现数据差错。随着客运发展的信息化和精细化, 列车运行图调整频繁, 急需实现智能票额分配, 以提高票额管理的工作效率和质量。因此, 本文提出一种基于客流预测的票额智能分配方法(由于票额的分配经常是在预售期外进行, 所以也称之为票额智能预分)方法。

1 客流预测

为了满足票额智能分配, 客流预测必须以列车

逐日分席别的站间客流为基本粒度进行预测。但是, 目前对于客流预测的研究主要集中在客流总量的预测上, 可以借鉴的成果较少。本文以全路客票发售与预订系统中的客票数据为基础, 将列车发售的客票数据转换成客运量时间序列数据, 采用基于改进的移动平均时间序列分析法, 实现列车逐日分席别的站站客流预测。

时间序列分析法的基本思想是寻找时间发展的统计规律, 拟合出适当的数学模型描述这种规律并预测未来^[6-9]。本文对经典的移动平均时间序列预测方法做了 2 项改进: ①参考的时间序列数据不再是连续的, 而是根据不同的客流阶段自动识别确定的; ②增加客流周期、客流发展趋势等因素的影响系数。

采用改进的移动平均时间序列预测方法预测客流的基本模型为

$$x_{t+1} = \sum a x^{(i)} + \sum_k u_k x^{(i)} \quad (1)$$

式中: x_{t+1} 为 $t+1$ 时刻的预测客流; $x^{(i)}$ 为 t 时刻参考的客运量时间序列数据, 其值依据 x_{t+1} 所处的客流阶段(节假日客流参照上一年度相同节假日的, 普通时期客流参照最相邻普通时期的)确定; a 为发展系数; u_i 为因素影响系数, $i \in [1, k]$, k

收稿日期: 2012-07-20; 修订日期: 2013-01-09

基金项目: 铁道部科技研究开发计划项目(2011X018-A); 中国铁道科学研究院行业服务技术创新项目(2010YJ10)

作者简介: 王洪业(1981—), 男, 河南周口人, 助理研究员。

为客流影响因素总数。

根据式(1)进行客流预测的步骤如下。

第1步:计算发展系数 a 。对选定参照期的客流时间序列数据采用差分法计算得到客流周期,提取相邻周期期间的变化趋势得到变化趋势序列,通过回归计算得出预测周期的发展系数 a 。

第2步:计算因素影响系数 u_i 。通过计算参考时间序列的最近相邻 n 个周期的序列分星期的周规律因素、分节假日的假日因素和普通期的一般因素,提取各因素对参考序列的影响系数。

第3步:判定 x_{t+1} 客流特征是普通时期客流还是节假日客流。如果是普通时期客流,则可确定参照客流时间序列 $x^{(t)}$ 由最近可以获得的列车分席位时间子序列、去年同期时间子序列与 x_{t+1} 去年同期时间子序列共同组成;如果处于节假日客流阶段,需进一步判定在节假日中的时序位置,如处于节假日客流的第几天,则可确定参照客流时间序列 $x^{(t)}$ 由最近可以获得的列车分席位时间子序列、去年同期时间子序列、 x_{t+1} 去年和前年同期时间子序列共同组成。

第4步:根据式(1)计算得到 x_{t+1} 。

对列车的每个席别的每个站的客流依次采用上述步骤进行计算,得到列车指定预测时间的分席别的站站客流 $x = \{p_{12}, p_{13}, \dots, p_{1w}, p_{23}, p_{24}, \dots, p_{2w}, \dots, p_{w-1w}\}$ 。以此客流为基础进行票额智能分配。

2 票额智能分配方法

2.1 票额智能分配原则

票额智能分配应遵循2个原则:①票额分配方案不可对票额所有站的票额发售有重大影响,从而保证列车沿途各站既有的分配利益;②削弱客流预测存在的误差对票额预分的负面影响,保证票额分配方案的合理性。

2.2 票额智能分配模型

定义如下参数:列车指定席别的可发售票额为 f ;最大停靠站站序为 W ;车站 i 至车站 j 的预测客流量为 p_{ij} ,票额分配方案为 s_{ij} ;指定席位列车票额分配站集 $K = \{k_i | i=1, 2, \dots, n-1\}$ 。

定义如下系数: m 为票额裂解控制系数,用于控制票额裂解的程度,在 $[0, 1]$ 之间取值,全裂解时取 $m=1$,全不裂解时取 $m=0$; n 为票额保护系数,用于对长途票额进行保护,在 $[0, 1]$ 之

间取值,票额全部保护时 $n=1$,全部不保护时 $n=0$,此处的票额保护是指票额以更长的可乘车区间保留,以方便票额在该区间的自由发售; γ 为票额所有站客流培养系数,在 $[0, 0.5]$ 之间取值,等于0时,视票额所有站为列车普通停靠车站,不进行该站票额的客流培养。

票额裂解控制系数 m ,票额保护系数 n 的值是根据最近1周客流预测的平均预测准确度确定的。为培养票额所有站的客流,需要保证票额裂解控制系数 m 不变,同时票额保护系数 n 要给予适量的放大,放大的比例一般视列车所处的开行阶段而定,新开列车一般增加0.5倍,稳定期一般增加0.25倍。为简便起见, m 和 n 的值根据对整趟列车的预测结果综合考虑确定。预分后,可能剩余席位调整至通售用途供列车各经停站发售。在客流旺季,或客流预测误差偏大时,需要调小票额裂解控制系数 m 、增大票额保护系数 n ;在客流淡季,或客流预测误差较小时,可以调大票额裂解控制系数 m 、减小票额保护系数 n 。

票额分配模型主要包括站间票额数量调配模型和席位占用优化模型。

根据站站客流预测结果,综合考虑票额裂解因素、票额保护因素和客流培养因素,建立的站间票额数量调配模型为

$$S = \{s_{ij} | s_{ij} = \int_0^m \int_0^n (4 + \gamma) p_{ij} xy dx dy$$

$$m \in [0, 1], n \in [0, 1], \gamma \in [0, 0.5]\} \quad (2)$$

$$s.t. \quad s_{ij} \leq s_j. \quad (3)$$

$$s_{ij} \leq p_i. \quad (4)$$

$$s_{ij} \leq f \quad i \notin K \quad (5)$$

3个约束条件的含义是:式(3)表示以某站为下车站的票额不能超过以该站为上车站的票额数;式(4)表示某站分配到的票额不能超过该站的票额预测需求;式(5)表示某站分配到的票额不可以超过可发售票额数。

以站站间的票额分配数裂解票额时使用的长途票额最少为目标函数,建立的席位占用优化模型为

$$\min T = \cos t \left(\sum_{i=1}^{W-1} \sum_{j=2}^W s_{ij} \right) \quad (6)$$

2.3 模型求解方法

对于建立的2个模型,确定票额裂解控制系数 m ,票额保护系数 n ,客流培养系数 γ ,采用形式化的算法求解,求解流程描述如下。

对于 $i=1$ 到 W

{

对于 $j=W$ 到 $i+1$

{

读取客流预测方案 p_{ij} ;

按照模型 (1), 计算得到第 i 站分配座席数量 s_{ij} ;

对于 $k=i$ 到 1, $r=j$ 到 W ,

{

逆序寻找满足数量为 s_{ij} 的席位 $S_{k \rightarrow r}$; 并将席位裂解为乘车区间为 $S_{k \rightarrow i}$, $S_{i \rightarrow j}$ 和 $S_{j \rightarrow r}$, 其中 $k \neq i, i \neq j, i \neq r$;

对于 $t=1$ 到 k , 进行票额 $S_{t \rightarrow k}$ 和 $S_{k \rightarrow i}$ 的席位合并;

对于 $t=r$ 到 W , 进行票额 $S_{j \rightarrow r}$ 和 $S_{r \rightarrow W}$ 的席位合并;

}

}

}

2.4 应用分析

将上述票额智能分配方法应用于客票系统进行

实际的列车票额分配。以 D3022 次上海虹桥—武汉为例, 选取 2012 年 5 月第 2 周的列车“二等座”票额实施列车智能票额分配。该列车的客座率为 109.4%, 上座率为 267.0%, 客流需求旺盛。该列车的客流预测结果与实际售出张数对比柱状图如图 1 所示。客流预测结果表、票额分配方案表、列车票额售出统计见表 1—表 3。由图 1、表 1—表 3 可以得出如下结论。

(1) 该分配方法以站站客流预测结果为基础, 对其中的稳态客流部分(由票额裂解系数控制)实施票额裂解, 对时变客流部分(由票额保护系数控制)以长途形式保留。这样的票额分配方法, 不仅可以满足沿途车站客票预售的需求, 而且可以对时变客流中潜在长途客流进行培养, 从而实现随客流变化的票额弹性管理;

(2) 客流预测结果与实际客流基本吻合;

(3) 各站分配的票额全部售出, 没有浪费;

(4) 始发站裂解的票额基本上是以长途票额的形式保留在了沿途站, (“苏州园区”车站除外),

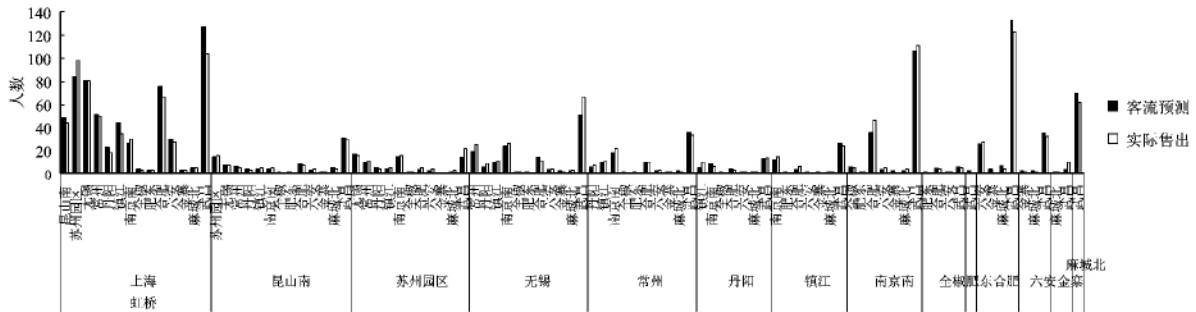


图1 D3022 客流预测结果与实际售票数柱状对比图

表1 客流预测结果表

单位: 人

下车站	上车站														合计
	上海虹桥	昆山南	苏州园区	无锡	常州	丹阳	镇江	南京南	全椒	肥东	合肥	六安	金寨	麻城北	
昆山南	48														48
苏州园区	83	14													97
无锡	80	7	16												103
常州	51	6	9	19											85
丹阳	22	3	5	6	6										42
镇江	44	4	3	10	9	5									75
南京南	26	4	14	23	18	8	12								105
全椒	3	1	1	1	1	1		6							14
肥东	2	1		1	1		1	1	1						8
合肥	75	8	4	14	10	3	4	35	5						158
六安	29	2	2	4	2	1	1	4	1		26				72
金寨	2	1	0	2	1		1	2			4	2			15
麻城北	5	5	1	2	2	1	1	2			7	2	1		29
武昌	127	31	14	51	35	13	26	106	6	2	133	35	4	69	652
合计	596	87	69	132	84	31	45	156	13	2	170	39	5	69	1 503

表 2 票额分配方案表

单位：张

下车站	上车站														合计
	上海虹桥	昆山南	苏州园区	无锡	常州	丹阳	镇江	南京南	全椒	肥东	合肥	六安	金寨	麻城北	
昆山南	22														22
苏州园区	42														42
无锡	40														40
常州	25														25
丹阳	11		1												12
镇江	22		2												24
南京南	13		7												20
全椒	2		1												3
肥东	1														1
合肥	38		3			0									41
六安	15		1			0									16
金寨	1		0												1
麻城北	3		1												4
武昌	402	22	27	40	25	11	24	20	2	1	40	16	1	3	634
合计	637	22	43	40	25	12	24	20	2	1	40	16	1	3	885

表 3 列车票额售出统计表

单位：张

下车站	上车站														合计
	上海虹桥	昆山南	苏州园区	无锡	常州	丹阳	镇江	南京南	全椒	肥东	合肥	六安	金寨	麻城北	
昆山南	44														44
苏州园区	98	15													113
无锡	80	7	15												102
常州	49	5	11	25											90
丹阳	18	2	3	8	7										38
镇江	34	5	5	11	11	9									75
南京南	29	5	15	26	21	6	14								116
全椒	2	0	1	1	0	0		5							9
肥东	2	0		0	0		0	1	0						3
合肥	66	7	5	11	9	2	6	46	4						156
六安	27	4	3	3	2	1	0	5	1		27				73
金寨	2	1	0	1	1		0	0			5	1			11
麻城北	5	4	2	2	1	1	1	3			3	1	1		24
武昌	103	30	21	66	33	13	24	111	5	0	122	32	9	61	630
合计	559	85	81	154	85	32	45	171	10	0	157	34	10	61	1 484

这样的票额组织形式十分安全、灵活，便于沿途站组织为任意站间的客流；

(5) “苏州园区”车站裂解的短票，是由于该车站的客流形态稳定，且列车前方站的需求旺盛，是根据需要产生的因需裂解调整。

3 结 语

提出的基于客流预测的票额智能分配方法既可以在能力足够充分时，通过加大票额裂解控制系

数，减小票额保护系数，加大票额的营销力度，使得票额提前分配至沿途站，实现“票尽其用”的效果；又可在能力不足时，通过减小票额裂解控制系数，加大票额保护系数，有效地控制票额优先满足优质客户，保证列车开行的整体效益，实现运输能力的自动、快速分配。这种方法实现了及时、自动地按需调整列车票额配置，突破了传统固定票额分配方法不能及时体现客流变化特征、时效性差、调整票额固定的局限，有利于实现列车沿途车站的售票组织与营销。

参 考 文 献

- [1] 张振利. 适应中国高速铁路客流特性的售票组织策略优化研究 [J]. 铁道经济研究, 2010 (6): 43-45, 50.
(ZHANG Zhenli. Research on the Optimization of Ticketing Management Strategies According to the Characteristics

- of Chinese HSR Passenger Flow [J]. Railway Economics Research, 2010 (6): 43-45, 50. in Chinese)
- [2] 马建军, 许红, 胡思继, 等. 计算机编制旅客列车票额分配系统的理论和设计方法 [J]. 铁道学报, 2001, 23 (6): 6-10.
(MA Jianjun, XU Hong, HU Siji, et al. Theory and Design Method on Seats Allotment System of Passenger Trains Worked Out with Computer [J]. Journal of the China Railway Society, 2001, 23 (6): 6-10. in Chinese)
- [3] 叶建娥, 陈光伟. 旅客列车票额自动分配系统的设计和实现 [J]. 中国铁道科学, 2003, 24 (4): 54-58.
(YE Jiane, CHEN Guangwei. Design and Implementation of Automatic Seats Allotment System for Passenger Trains [J]. China Railway Science, 2003, 24 (4): 54-58. in Chinese)
- [4] 宋超. 旅客列车的票额分配 [J]. 中国铁路, 2005 (8): 63-64.
(SONG Chao. Seat Allotment of Passenger Train [J]. Chinese Railway, 2005 (8): 63-64. in Chinese)
- [5] 罗宏伟, 肖锐, 马建军. 旅客列车票额分配系统的设计和实现 [J]. 铁路计算机应用, 2004, 13 (8): 12-14.
(LUO Hongwei, XIAO Rui, MA Jianjun. Design and Implementation of Seats Allotment System for Passenger Trains [J]. Railway Computer Application, 2004, 13 (8): 12-14. in Chinese)
- [6] 何勇, 鲍一丹, 吴江明. 随机型时间序列预测方法的研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1997 (1): 36-43.
(HE Yong, BAO Yidan, WU Jiangming. A New Forecasting Method for Stochastic Time Series [J]. Systems Engineering-Theory and Practices, 1997 (1): 36-43. in Chinese)
- [7] 汪荣鑫. 随机过程 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.
- [8] 龚光鲁, 钱敏平. 应用随机过程教程及在算法和智能计算中的随机模型 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [9] 王燕. 应用时间序列分析 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.

Intelligent Seat Allotment Method for Railway Passenger Train Based on Passenger Flow Forecast

WANG Hongye¹, LÜ Xiaoyan¹, ZHOU Liangjin¹, YOU Xuesong²

(1. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China;

2. Transport Bureau, Ministry of Railways, Beijing 100844, China)

Abstract: Based on the China Railway Ticketing and Reservation System (TRS) dataset, train ticket data were converted into the time series data of passenger volume. Series analysis method based on improved moving average time was adopted to achieve train daily station-station passenger flow forecast by seat classes. Comprehensively considering seat cleavage factors, ticket protective factors and traffic culture factors, station-station seat adjustment model was established. With the minimum long-distance ticket used by seat cleavage for station-station seat allocation as objective function, seat occupied optimization model was established. The intelligent seat allocation model was composed of the above two models and the pre-allocation scheme was obtained by solving the model. The application results show that seats can be allocated according to passenger needs automatically, fast, reasonably and effectively, and at present the method has been used in China Railway Ticketing and Reservation System.

Key words: Seat allotment; Passenger flow forecast; Seat cleavage factor; Ticket protective factor; Traffic culture factor

(责任编辑 刘卫华)