

文章编号: 1001-4632 (2011) 06-0125-04

铁路旅客列车票额智能预分研究

单杏花¹, 周亮瑾¹, 吕晓艳¹, 张军峰¹, 王凌燕²

(1. 中国铁道科学研究院 电子计算技术研究所, 北京 100081;

2. 北京铁路局 客运处, 北京 100055)

摘 要: 根据铁路的客流特点、季节特征和预售票规律, 结合客流的历史数据和专家经验, 采用时间序列分析方法建立旅客列车客流预测模型, 预测旅客列车的 OD 客流。以预测的 OD 客流为基础, 以旅客列车全程的客座率、收入以及整体效益最大化为目标, 研究提出先长途后短途、先有座后无座、先按数量预分再按比例预分等旅客列车票额预分等主要原则, 给出票额预分算法, 并在此基础上构建铁路旅客列车票额智能预分系统。实际应用结果表明, 该系统实现了铁路旅客列车票额的动态分配, 提高了旅客列车沿途停靠车站组织客流的积极性, 提高了旅客列车的客座率。

关键词: 票额预分; 售票组织; 客流预测

中图分类号: U293.221; U293.13 **文献标识码:** A

自铁路第六次大面积提速后, 铁路客运部门为了进一步挖潜提效, 充分利用铁路运输能力, 进行了铁路客票发售系统 5.0 版本^[1]的升级, 研究并实现了席位复用、票额共用和剩余票调整等售票组织功能^[2], 使得旅客列车客座率^[3]普遍提高了 5%~15%, 每年为全路带来了超过 10 亿元的客运增收, 凸显了铁路客运挖潜提效的效果。但这些售票组织功能在运用过程中也显现出中间站组织发售途经旅客列车车票积极性不高的问题, 限制了旅客列车进一步挖潜提效。分析这一问题产生的原因是:

(1) 现有的售票组织采用固有的票额分配方案, 一直遵循优先满足列车始发站和中转换乘站需求的原则, 而只给中间站预留少量的票额, 因此票额不足一直是中间站组织客流的困难所在。

(2) 中间站可发售的车票数量和预售时间存在着不确定性。这是因为席位复用须等上一站售出车票后才能裂解出下一站的车票 (例如对于 A—C 区段, 只有在售出 A—B 区间的车票后, 才能裂解出 B—C 区间的车票), 剩余的车票需在充分考虑票额所在站和局的需要后才可调整给前方站和前方局, 票额共用的原则一般是在开车前几分钟该车票额的所在站才会将该车的票额开放给中间站共用。

为解决此问题, 本文利用历史客流数据, 通过

分析列车客流的分布和趋势, 研究票额的智能预分, 即将旅客列车票额的静态分配变成适应客流需求的动态预分, 以稳住列车沿途各中间站的常态客流, 应对突发客流, 吸引淡季客流, 提高铁路旅客列车客座率。

1 票额智能预分模型及算法

旅客列车票额智能预分的目的是为了实现每一趟列车每一席位尽量得到全程利用, 因此须考虑以下要求。

(1) 首先确保列车的整体效益, 即确保列车全程客座率、列车全程收入以及列车的社会效益。

(2) 其次是保证始发站长途车票的效益。直通车的开行是为了方便长途旅客, 因此票额的动态预分应保证始发站的长途车票数量, 以稳定始发站的长途客流。

(3) 充分挖掘中间站短途车票的效益。对售票组织裂解出车票的历史情况进行分析, 科学、合理地分配中间站的票额, 以保障中间站的旅客发送, 提高其组织客流的积极性。

总之, 票额智能预分就是在列车票额总量一定的情况下, 按照预测的客流进行席位的区段分解,

收稿日期: 2011-05-10; 修订日期: 2011-07-30

基金项目: 铁道部科技研究开发计划项目 (2007X008-A)

作者简介: 单杏花 (1974—), 女, 江西婺源人, 副研究员, 硕士。

预分模型的核心是列车 OD 客流预测模型、票额预分原则和预分算法。

1.1 列车 OD 客流预测模型

铁路客流是一个时变的复杂系统, 具有高度的不确定性。这种不确定性不但有来自自然界方面的原因, 也有来自人为方面的原因, 这给铁路客流预测带来了极大的困难^[4]。鉴于目前铁路客流的一些不确定性信息无法获取和运输能力还不能满足旅客需求的情况, 本文基于历史客流数据, 采用时间序列分析方法建立的旅客列车 OD 客流预测模型为

$$X_t = W_y \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + W_{y1} X_{t_{y1}} + W_{y2} X_{t_{y2}} + W_{at} a_t \quad (1)$$

式中: X_t 为预测的 t 日客流, X_{t-i} 为 $t-i$ 日的近期历史客流; p 为模型阶次, 也可理解为近期参考天数; $X_{t_{y1}}$ 和 $X_{t_{y2}}$ 分别为去年和前年与 t 日同期的 t_{y1} 日和 t_{y2} 日的历史客流; $W_y \in [0, 1]$ 为近期历史客流的参考权重, $W_{y1} \in [0, 1]$ 和 $W_{y2} \in [0, 1]$ 分别为去年和前年同期客流的参考权重, $W_{at} \in$

$[0, 1]$ 为预售量的参考权重, 均根据专家经验取值; φ_i 为自回归系数, 表示 X_{t-i} 对 X_t 的贡献程度, 也可以理解为加权系数或近期增幅系数; a_t 为白噪声输入, 它包含系统的激励和噪声干扰, 在此理解为旅客提前购买预测日 t 的车票数量; 另外, 因为铁路客流的变化存在明显的春运、暑运、小长假、黄金周以及星期的周期性规律, 所以还需根据 t 的周期性规律确定 t_{y1} 和 t_{y2} 的取值。如果是春运、暑运、小长假或黄金周, 则 t_{y1} 和 t_{y2} 分别为同期节假日; 如果是星期规律, 则 t_{y1} 和 t_{y2} 分别为同期且与 t 前后相差不超过 7 d 的同一星期中的最邻近日期。

基于此模型对北京铁路局 2011 年的春运客流进行预测, 并与实际客流对比, 结果见表 1。

根据表 1 中数据计算, 得到平均绝对值误差率 (MAPE) 为 0.082 601 643, 平均误差率 (MPE) 为 -0.024 348 262, 均接近于 0, 说明用本文给出的客流预测模型得到的客流预测结果较为接近实际客流。

表 1 北京铁路局 2011 年春运客流预测与实际对比

春运第 t 天	实际客流 P_t /人	预测客流 X_t /人	误差 ($P_t - X_t$)	绝对误差 ($ P_t - X_t $)	$\frac{ P_t - X_t }{P_t}$	$\frac{P_t - X_t}{P_t}$
1	510 452	505 144	5 308	5 308	0.010	0.010
2	527 139	512 858	14 281	14 281	0.027	0.027
3	538 015	509 571	28 444	28 444	0.053	0.053
4	539 899	529 071	10 828	10 828	0.020	0.020
5	521 324	553 655	-32 331	32 331	0.062	-0.062
6	520 991	564 326	-43 335	43 335	0.083	-0.083
7	538 271	550 731	-12 460	12 460	0.023	-0.023
8	556 390	587 605	-31 215	31 215	0.056	-0.056
9	556 650	583 708	-27 058	27 058	0.049	-0.049
10	597 982	590 483	7 499	7 499	0.013	0.013
11	590 415	599 420	-9 005	9 005	0.015	-0.015
12	556 158	601 461	-45 303	45 303	0.081	-0.081
13	531 330	600 230	-68 900	68 900	0.130	-0.130
14	459 824	509 661	-49 837	49 837	0.108	-0.108
...
28	420 194	474 302	-54 108	54 108	0.129	-0.129
29	403 474	466 756	-63 282	63 282	0.157	-0.157
30	339 576	376 298	-36 722	36 722	0.108	-0.108
31	570 832	505 976	64 856	64 856	0.114	0.114
32	576 595	484 537	92 058	92 058	0.160	0.160
33	567 664	474 227	93 437	93 437	0.165	0.165
34	486 836	509 899	-23 063	23 063	0.047	-0.047
35	467 380	535 433	-68 053	68 053	0.146	-0.146
36	476 216	518 123	-41 907	41 907	0.088	-0.088
37	492 482	473 673	18 809	18 809	0.038	0.038
38	566 029	450 995	115 034	115 034	0.203	0.203
39	565 642	444 354	121 288	121 288	0.214	0.214
40	555 550	473 111	82 439	82 439	0.148	0.148
合计	19 128 001	19 364 599	-236 598	1 545 160	3.304	-0.974

1.2 票额预分原则

(1) 先预分始发站的票额, 然后再按列车沿途停靠的先后顺序依次给中间站预分票额。

(2) 先按预测的始发站 OD 客流为始发站预分票额, 剩余的票额再根据预测的中间站客流按比例预分。

(3) 先预分有座票额, 再预分无座票额。

(4) 先预分长途票额, 再预分短途票额。

(5) 在预分中间站票额时如果裂解给下一中间站的票额不足, 可用始发站的剩余票额补充。

(6) 在预分中间站票额时如果裂解给下一中间站的票额有剩余, 则剩余车票的发站变更为其相邻的下一中间站。

(7) 当某一中间站对票额的需求得到满足、或者得不到满足但始发站也无剩余票可提供分配时, 则对该车站的票额预分结束。

1.3 票额预分算法

设某一旅客列车沿途停靠的中间站集合为 $S = \{S_i | i = 2, 3, \dots, n-1\}$; 始发站 S_1 到沿途各中间站和终点站的预测 OD 客流为 T_{1j} , $j = 2, 3, \dots, n$; 中间站 S_i 到其他各中间站和终点站的预测 OD 客流为 $T_{i(j+1)}$; 根据专家经验为始发站 S_1 预留的长途票比例为 r , 中间站 S_i 的预测客流占中间站总预测客流的的比例为 R_{ij} , 各中间站已预分的固定票额为 O_{ij} 张, 该列车始发站的有座长途票额为 M 张, 无座长途票额为 W 张, 则票额预分的步骤如下。

(1) 按票额预分原则, 由远及近依次为始发站 S_1 预分票额, S_1 至终点站 S_n 的票额为 $T_{1n}(1+r)$, S_1 至各中间站 S_i 的票额为 $T_{1(n-1)}, \dots, T_{13}, T_{12}$; 则预分给始发站 S_1 的总票额 T_1 为

$$T_1 = T_{12} + T_{13} + \dots + T_{1n(1+r)} \quad (2)$$

在为始发站 S_1 预分票额的同时, 裂解出了 $T_{2n}, T_{3n}, \dots, T_{(n-1)n}$ 各段车票。

(2) 按先预分短途票、后预分长途票, 先预分有座票、后预分无座票, 先满足长途票需求、后满足短途票需求, 先预分上一站裂解出的车票、不足时再用始发站的剩余车票补充等原则, 按顺序为各中间站预分票额。中间站 S_i 预分的票额 T_i 为

$$T_i = (T_{i(i+1)} - O_{i(i+1)}) + (T_{i(i+2)} - O_{i(i+2)}) + \dots + (T_{in} - O_{in}) \quad (3)$$

在给中间站 S_i 预分票额的同时, 裂解出后续各段车票; 并将 S_i 站的剩余车票调往下一站 S_{i+1} , 以供 S_{i+1} 站预分票额时之用。

(3) 按比例预分的原则, 将始发站 S_1 的剩余

票额按比例 R_{ij} , 依次分配给中间站 S_2, S_3, \dots, S_{n-1} 。则预分给中间站 S_i 的剩余票额 $T_i^{\text{剩}}$ 为

$$T_i^{\text{剩}} = \sum_{j=i+1}^n ((M+W - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n T_{ij}) \times R_{ij}) \quad (4)$$

2 票额智能预分系统设计

2.1 系统工作流程

基于上述预分原则和算法设计票额智能预分系统。该系统与铁路客运营销系统和铁路客票发售系统^[5]相连, 根据铁路客运营销系统提供的旅客发送数据进行 OD 客流预测, 然后进行票额的预分, 形成票额分配方案并提供给铁路客票发售系统, 据此售票。票额智能预分系统的工作流程如图 1 所示。

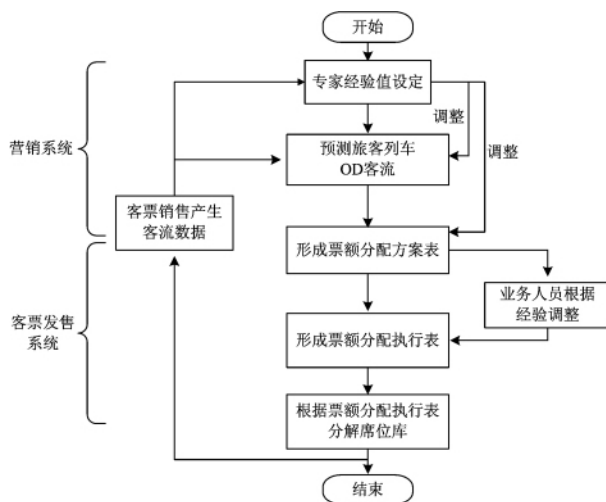


图1 票额智能预分系统工作流程

2.2 系统功能

系统的主要功能涵盖预分车次定义、预分天数定义、专家参数定义、预分方案审核等功能, 具体如图 2 所示。

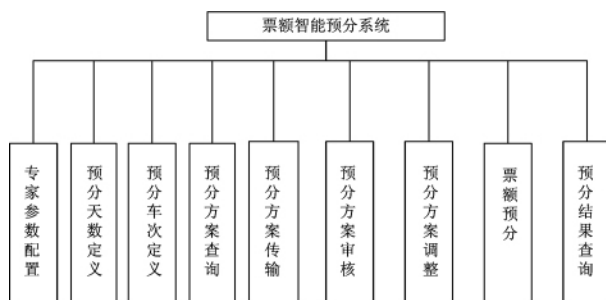


图2 票额智能预分系统功能结构

3 结 语

票额智能预分系统于 2009 年 6 月开始在全路

客座率较低的旅客列车上试用,到 2010 年底已全面应用于所有旅客列车。票额智能预分策略与票额共用、席位复用等售票组织功能协调配合,形成了一套完整有效的售票组织体系,实现了铁路旅客列

车的票额分配由静态向动态的转变,有效提高了旅客列车沿途停靠车站组织客流的积极性,进而提高了列车的整体效益,为铁路客运挖潜提效发挥了积极的作用。

参 考 文 献

- [1] 铁道部客票总体组. 中国铁路客票发售和预订系统 5.0 版本技术手册 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [2] 朱建生, 单杏花, 周亮瑾, 等. 中国铁路客票发售和预订系统 5.0 版的研究与实现 [J]. 中国铁道科学, 2006, 27 (6): 95-103.
(ZHU Jiansheng, SHAN Xinghua, ZHOU Liangjin, et al. The Research and Implementation of China Railway Ticketing and Reservation System (TRS) Version 5.0 [J]. China Railway Science, 2006, 27 (6): 95-103. in Chinese)
- [3] 邓连波, 史峰. 旅客列车开行方案评价指标体系 [J]. 中国铁道科学, 2006, 27 (3): 106-110.
(DENG Lianbo, SHI Feng. Evaluation Index System of Passenger Train Operation Plan [J]. China Railway Science, 2006, 27 (3): 106-110. in Chinese)
- [4] 刘强. 基于复杂系统的铁路客流预测方法研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院电子计算技术研究所, 2008.
- [5] 刘春煌. 铁道部客票中心系统的设计与关键技术的实现 [J]. 中国铁道科学, 2001, 22 (2): 15-22.
(LIU Chunhuang. Design of MOR Ticketing Center and Use of Key Technologies [J]. China Railway Science, 2001, 22 (2): 15-22. in Chinese)

Research on Intelligent Pre-Assignment of Ticket Allotment for Railway Passenger Train

SHAN Xinghua¹, ZHOU Liangjin¹, LÜ Xiaoyan¹,
ZHANG Junfeng¹, WANG Lingyan²

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

2. Passenger Transport Department, Beijing Railway Bureau, Beijing 100055, China)

Abstract: According to the characteristics of railway passenger flow and season as well as the law of booking in advance, combined with the historical data of passenger flow and expert experience, the time series analysis method was adopted to establish the passenger flow prediction model to predict the passenger flow for passenger train ODs. Based on the predicted OD passenger flow, with the maximization in passenger load factor of the whole journey for passenger train, the income and the whole benefit as target, the core principles for pre-assigning ticket allotment was put forward. The core principles were long distance first and then short distance, seat first and then no seat, pre-assignment first according to number and then proportion, etc. The algorithm for pre-assigning ticket allotment was given. On this basis, the intelligent pre-assignment system for railway passenger train ticket allotment was constructed. The results of practical application show that the system has realized the dynamic allocation of railway passenger train ticket allotment, improved the enthusiasm for organizing passenger flow at stations on the way and increased the passenger load factor of passenger train.

Key words: Pre-assignment of ticket allotment; Ticketing organization; Passenger flow prediction

(责任编辑 阳建鸣)