

基于组合模型的短期客运航班量预测方法研究

高源^{1*}, 张悦宸^{1#}, 魏明²

¹中国民用航空局运行监控中心, 北京

²中国民航大学空中交通管理学院, 天津

收稿日期: 2022年8月15日; 录用日期: 2022年9月13日; 发布日期: 2022年9月21日

摘要

针对不同预测方法的优缺点, 本文建立了一种基于回归模型和灰色模型的短期客运航班量组合预测算法, 并选取实际执行航班量、预先飞行计划航班量、订票量及客座率等数据计算组合模型回归系数。研究表明, 该组合算法预测结果具有较高的可靠性, 可以满足预测需求, 为短期航班量预测提供一种新思路, 为运行单位基于民航运行信息管理系统开发短期客运航班量预测模块提供决策支持。

关键词

航班量预测, 客运航班, 灰色模型, 民航运行信息管理系统

Research on Forecasting Method of Short-Term Passenger Number of Flights Based on Combination Model

Yuan Gao^{1*}, Yuechen Zhang^{1#}, Ming Wei²

¹Operation Supervisory Center of CAAC, Beijing

²School of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin

Received: Aug. 15th, 2022; accepted: Sep. 13th, 2022; published: Sep. 21st, 2022

Abstract

According to the advantages and disadvantages of different forecasting methods, this paper establishes a combination prediction algorithm of short-term passenger flight volume based on regression model and grey model, and selects the data of actual flight volume, pre-planned flight volume,

*第一作者。

#通讯作者。

reservation volume and passenger load factor to calculate the regression coefficient of the combination model. The research shows that the prediction result of the combined algorithm has high reliability and can meet the prediction demand, which provides a new idea for short-term flight volume prediction, and provides decision support for operating units to develop short-term passenger flight volume prediction module based on civil aviation operation information management system.

Keywords

Forecast of Flight Volume, Passenger Flight, Gray Model, Civil Aviation Operation Information Management System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

航班量是反映民航运行品质的重要指标。2021 年中国民航客运航班量占全部航班量的 91.26%，因此短期客运航班量的预测工作有助于民航一线运行部门提前掌握、预判区域内的运行情况，并提前制定应对措施，对民航整体运行顺畅具有重要意义。

目前，关于交通量预测方面的研究众多，较少涉及客运航班量预测方面，主要归纳如下：文献[1] [2] 通过熵权法及 BP 神经网络对机场旅客吞吐量进行预测，得到结果能够较好满足预测需求；文献[3] 基于 LSTM (长短期记忆网络) 对民航航线客运量和航班票价进行了预测研究；文献[4] [5] 优化了空中交通流量预测算法，全面地反映出管制区域流量预测信息；文献[6] 利用灰色预测模型 GM(1,1) 对中长期航班起降量进行预测，结果显示该模型对于航班量预测的精确度较高；文献[7] 为预测未来碳排放目标，选取灰色预测模型对中国碳排放进行短期预测，预测结果与实际结果出入较小；文献[8] 探讨了回归模型对于航空运输需求预测研究的可靠性和精确性大大超过已有文献模型的预测性能；文献[9] 探讨了回归模型探讨航空甚高频频率使用与航班总量之间相关性；文献[10] 探讨了基于神经网络的跑道占用时间预测；文献[11] 探讨了基于集成学习的离港航班延误预测方法。由上可知，现有研究主要不足包括：1) 仅采用一种方法进行航班量预测，鉴于各个方法的优缺点，预测精度有待进一步提高；2) 多数侧重长期航班量预测，忽略了揭示短期航班量的演变规律。

综上所述，现阶段针对航班量预测与民航实际运行相结合的预测精度难以满足要求的特点，本文研究一种基于回归模型和灰色模型的短期客运航班量组合预测算法，并在实际中重复检验使用。本文选取过去 14 天的实际执行客运航班量、预先飞行计划航班量、订票率、客座率等数据，通过回归模型及灰色模型的组合预测法，对未来 14 天的航班量进行科学、全面预测。通过实例分析将预测结果与实际航班量进行对比，得到预测精确度。最后，在民航运行信息管理系统(OIS)中开发了航班量预测模块，实现运行单位的查询功能。

2. 短期客运航班量组合预测模型

2.1. 基于一元线性回归模型的航班量预测方法

一元线性回归模型通常用于表达一个因变量和一个自变量之间的线性关系，一元线性回归分析法的

预测模型为:

$$Y_i = ax_i + b \tag{1}$$

式中, x_i 代表预先飞行计划量; Y_i 代表实际航班量; a 、 b 代表一元线性回归方程的参数, 具体求解方法如下:

$$a = \frac{n \sum x_i Y_i - \sum x_i \sum Y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \tag{2}$$

$$b = \frac{\sum Y_i}{n} - a \frac{\sum x_i}{n} \tag{3}$$

2.2. 基于多元线性回归模型的航班量预测方法

多元线性回归模型通常用于表达一个因变量和多个自变量之间的线性关系, 多元线性回归分析法的预测模型为:

$$Y = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + e \tag{4}$$

Y 表示实际飞行量, x_1 表示预先飞行计划量, x_2 表示订票率, x_3 表示客座率, c_0 为常数项, c_1 、 c_2 、 c_3 为回归系数, e 表示随机误差。

首先建立 n 维数组矩阵:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{i1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{i2} \\ 1 & x_{13} & x_{23} & \cdots & x_{i3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \tag{5}$$

利用最小二乘法计算回归矩阵 C :

$$\hat{C} = (X^T X)^{-1} X^T Y \tag{6}$$

随机误差计算公式为:

$$E = Y - \hat{Y} = Y - X\hat{C} \tag{7}$$

2.3. 基于灰色模型的航班量预测方法

设预测日前 n 天的实际飞行航班量为 $x(n)$, 则累加的实际飞行航班量为:

$$x^1(k) = \sum_{i=1}^k x(i) \quad (k=1, 2, 3, 4, \dots, n) \tag{8}$$

因此预测航班量 $x(k+1)$ 的计算方法为:

$$x(k+1) = x^1(k+1) - x^1(k) \tag{9}$$

$$x^1(k+1) = \left[x(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{v}} \right] e^{-\hat{v}k} + \frac{\hat{u}}{\hat{v}} \tag{10}$$

其中 u 、 v 为参数, 求解方法如下, 首先构建矩阵 B 、矩阵 Y

$$D = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}x^1(1) + x^1(2) & 1 \\ -\frac{1}{2}x^1(2) + x^1(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}x^1(n-1) + x^1(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$F = \begin{bmatrix} x(2) \\ x(3) \\ \vdots \\ x(n) \end{bmatrix} \quad (12)$$

建立微分方程:

$$\frac{dx^1}{dt} + vx^1 = u \quad (13)$$

使用最小二乘法求解 u 、 v :

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} \hat{v} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = (D^T D)^{-1} D^T F \quad (14)$$

2.4. 基于组合模型的航班量预测方法

单一预测模型的精确度受环境影响较大,因此本文结合一元线性回归模型、多元线性回归模型及灰度模型的优点,采用组合预测法对航班量进行预测,可有效提升预测精确度。

对于当日航班量预测,采用一元线性回归模型,对于次日及以上的预测,采用多元回归模型及灰度模型的组合预测法。本文引入欧几里得距离函数确定组合预测法权重的分配,即

$$\begin{cases} \omega_i = \alpha l_i + \beta m_i \\ \alpha + \beta = 1 \end{cases} \quad (15)$$

α 和 β 分别为多元回归模型和灰度模型的权重, l, m 分别为多元回归模型和灰度模型的预测航班量,权重求解方法如下:

$$\begin{cases} d(l_i, m_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (l_i - m_i)^2} \\ d(l_i, m_i)^2 = (\alpha - \beta)^2 \end{cases} \quad (16)$$

$$\text{即 } \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (l_i - m_i)^2} \right)^2 = (\alpha - \beta)^2 \quad (17)$$

3. 短期客运航班量预测实例

3.1. 实例分析

经验证,由于受订票量和客座率的限制,航班量在预测超过 14 天以上的数据时精确度会大幅下降,因此本文在组合预测算法的基础下,于 5 月 25 日当天对未来 7 日,即 5 月 25 日~31 日的客运航班量进行预测。其中采用的数据包括 5 月 11 日~5 月 31 日实际执行客运航班量及 5 月 11 日~5 月 31 日的预先飞

行计划数量、客座率、订票量。具体数据如表 1:

Table 1. Impact index of short-term passenger flight forecast
表 1. 短期客运航班量预测影响指标

日期	实际执行航班量	预先飞行计划量	订票量	客座率
5.11	4112	15,712	370,232	62.94%
5.12	3940	15,633	352,690	62.34%
5.13	4394	15,725	386,298	61.50%
5.14	3903	15,613	324,943	60.00%
5.15	4579	15,784	402,495	61.08%
5.16	4435	15,954	393,237	62.84%
5.17	4251	15,700	378,916	63.69%
5.18	4694	15,791	417,630	64.34%
5.19	4539	15,714	404,384	64.55%
5.20	5216	15,838	500,623	68.40%
5.21	4158	14,417	329,899	52.62%
5.22	4527	14,520	379,947	55.03%
5.23	4444	14,575	358,871	54.14%
5.24	4421	14,415	358,266	55.62%
5.25	-	14,615	382,521	56.21%
5.26	-	14,466	246,007	47.35%
5.27	-	14,670	197,825	41.78%
5.28	-	14,488	214,196	43.03%
5.29	-	14,687	165,399	28.16%
5.30	-	14,732	118,507	23.52%
5.31	-	14,466	121,965	25.09%

经一元回归模型计算, 参数 $a = 0.069$, $b = 3335.777$, 则一元线性回归方程为:

$$Y = 0.069x + 3335.777$$

通过 SPSS 对历史数据进行分析, 得出多元回归模型下的预先飞行计划量的回归系数 $c_1 = -0.005$, 订票率的回归系数 $c_2 = 0.01$, 客座率的回归系数 $c_3 = -3557.32$, 常量为 2963.569。

因此, 该日短期客运航班量线性回归模型方程为:

$$Y = 2963.569 - 0.005c_1 + 0.01c_2 - 3557.32c_3$$

通过 SPSS 对历史数据进行灰色预测, 最终求得参数 $u = -0.016$, $v = 4167.742$ 。

数据经过组合模型求解后得出最终预测值, 其中 $\alpha = 0.552$, $\beta = 0.448$, 预测结果如表 2 及图 1 所示。

结果表明, 组合算法预测偏差明显优于单一算法, 可有效提高预测精确度。当前短期客运航班量组合预测模型在预测当日航班量时与真实数据基本吻合, 对于未来第 7 天的数据, 预测偏差控制在 5.33% 以内, 精确度较高, 基本可以满足预测需求。

Table 2. Short-term passenger flight volume forecast data from May 25 to 31
表 2. 5月25日~31日短期客运航班量预测数据

日期	实际执行航班量	预测航班量					
		多元回归模型	预测偏差	灰度模型	预测偏差	组合算法	预测偏差
5.25	4633	4610	0.50%	4583	1.08%	4603	0.65%
5.26	4385	4520	3.08%	4548	3.72%	4532	3.35%
5.27	4542	4802	5.72%	4785	5.35%	4784	5.33%
5.28	4423	4213	4.75%	4281	3.21%	4251	3.89%
5.29	4369	4637	6.13%	45600	5.29%	4592	5.10%
5.30	4514	4545	0.69%	4543	0.64%	4534	0.44%
5.31	4486	4331	3.46%	4350	3.03%	4357	2.88%

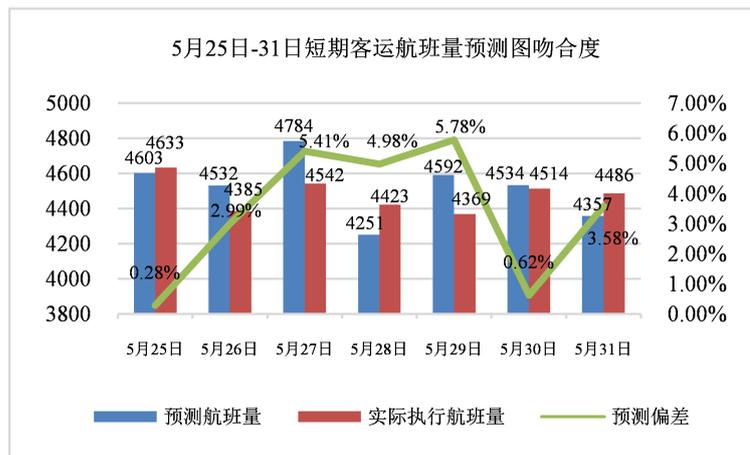


Figure 1. Consistency of short-term passenger flight volume forecast from May 25 to 31
图 1. 5月25日~31日短期客运航班量预测吻合度

3.2. 基于民航运行信息管理系统的短期客运航班量预测模块

本文将航班量预测模型嵌入民航运行信息管理系统(OIS)，为运行单位提供决策支持。

图 2 展示了 OIS 系统界面中的航班量预测模块，该模块可根据预测时间进行筛选，最多可预测未来 14 天数据，也可查询已执行完毕日期对应的预测结果，并针对查询结果进行导出。



Figure 2. OIS flight volume forecasting module
图 2. OIS 航班量预测模块

界面横坐标代表日期,纵坐标代表提前 X 天预测的数据,如“第 1 天”表示横坐标展示日期当日预测的航班量数据,“第 2 天”表示横坐标展示日期提前 1 天预测的航班量数据等。表格内容包括实际执行两、实际客座率、预测订票量、预测航班量及预测偏差。其中,预测偏差、客座率仅在当日航班执行完毕后显示(如在 6 月 18 日查询 6 月 17 日的预测数据时可显示预测偏差及客座率),实际执行列为实时更新数据。

4. 结论

1) 建立了一种针对短期客运航班量的预测方法,预测算法采用一元线性回归模型、多元线性回归模型及灰色模型的组合预测方式,通过欧几里得距离函数计算组合权重,有效实现了对于未来 14 天内短期客运航班量的预测。

2) 选取 5 月 11 日~31 日的实际执行航班量、预先飞行计划量、订票率、客座率等实际运行数据,实现对 5 月 25 日~31 日短期客运航班量的预测,结果显示,预测偏差在可控范围内,可以满足预测需求。

3) 开发短期客运航班量预测模块,并嵌入民航运行信息管理系统,并在实际中重复检验使用,不断提高预测精准度,为运行单位提供决策支持。

参考文献

- [1] 高伟,殷小曼. 基于熵值-BP 神经网络的机场旅客吞吐量预测[J]. 计算机仿真, 2021, 38(10): 64-67.
- [2] 肖淑敏,李印凤,刘妍焯,闫晨玉,傅航. 基于熵权的北京机场旅客吞吐量战略预测[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 17-24.
- [3] 甘国育. 基于 LSTM 的民航航线客运量和航班票价预测研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
- [4] 杨阳,王超. 空中交通流扇区内飞行流量优化预测管理[J]. 计算机仿真, 2017, 34(9): 74-78.
- [5] 陈恺,曾培彬,蔡浩. 改进型空中交通流量预测算法的验证与实现[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(12): 267-272.
- [6] 李杨. 我国航班起降量中长期预测——基于 GM(1,1)和 LPGM 预测的比较[J]. 价值工程, 2019, 38(16): 185-189.
- [7] 赵爱文,李东. 中国碳排放灰色预测[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(4): 61-69.
- [8] 魏中许. 面向国民经济发展规划的航空运输需求预测——基于回归模型可靠性和精确性分析[J]. 经济问题探索, 2016(4): 126-133.
- [9] 赵国栋,刘播阳,程思备,等. 航空甚高频频率使用与航班总量关联及预测分析[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2022, 34(2): 8-15.
- [10] 潘卫军,张衡衡,刘涛,等. 基于神经网络的跑道占用时间预测[J]. 指挥与控制学报, 2022, 8(2): 214-220.
- [11] 罗杰,侯霞,杨鸿波,等. 基于集成学习的离港航班延误预测方法[J]. 计算机工程与设计, 2022, 43(4): 7-12.