

基于组合预测模型的低值医用耗材库存需求预测

张林灵, 郑焜

浙江大学医学院附属儿童医院 医疗设备科, 浙江 杭州 310006

[摘要] 目的 探讨组合预测模型在低值医用耗材管理中的应用, 预测未来一段时间内低值医用耗材的库存需求。方法 以杭州某三甲医院低值医用耗材2017年1月至2018年12月的历史领用数据为初始建模数据, 采用基于二次指数平滑模型和灰色马尔科夫模型, 分别利用变异系数法、简单加权法和方差倒数法来确定组合权重的组合预测模型, 对低值医用耗材2019年1—4月的库存需求建立预测模型。结果 利用三种组合预测模型分别计算得到的预测值的相对误差均值都远小于5%。其中使用方差倒数法确定权重的组合预测的预测准确度最高, 其预测值的相对误差均值为1.39%, 接近实际值。结论 由方差倒数法确定权重的基于二次指数平滑模型和灰色马尔科夫模型的组合模型能够准确地对低值医用耗材进行短期预测, 根据组合模型的预测值, 可以为低值医用耗材的库存准备提供可靠依据。

[关键词] 库存需求预测; 二次指数平滑预测; 灰色马尔科夫预测; 组合预测模型

Demand Forecast of Low Value Medical Consumables Based on Combined Forecasting Model

ZHANG Linling, ZHENG Kun

Department of Medical Equipment, The Children's Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou Zhejiang 310006, China

Abstract: Objective To discuss the application of combined forecasting model in the management of low value medical consumables, and predicts the inventory demand of low value medical consumables in the future. Methods Based on the historical acquisition data of low value medical consumables from January 2017 to December 2018 in a first-class hospital at grade 3 in Hangzhou, a combined forecasting model based on quadratic exponential smoothing model and grey Markov model was used to determine the combined weight by using the variation coefficient method, simple weighting method and the inverse variance method, respectively. A forecast model was established for the inventory demand of low-value medical consumables from January to April 2019. Results The mean value of relative error calculated by the three combined forecasting models was far less than 5%. Among them, the prediction accuracy of the combination prediction was the highest, using the reciprocal variance method to determine the weight. The relative error mean of the prediction value was 1.39%, which was close to the actual value. Conclusion The combination model based on quadratic exponential smoothing model and grey Markov model, which is determined by the reciprocal variance method, can accurately predict the short-term value of low-value medical consumables. According to the prediction value of the combination model, it can provide a reliable basis for the inventory preparation of low-value medical consumables.

Key words: inventory demand forecast; quadratic smoothing prediction; grey Markov prediction; combined forecasting model

[中图分类号] R197.32

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2021.08.029

[文章编号] 1674-1633(2021)08-0120-04

引言

医用耗材是指经药品监督管理部门批准的使用次数有限(包括一次性及可重复使用)的消耗性医疗器械^[1]。按照价格, 医用耗材可分为高值医用耗材和低值医用耗材。目前医院对高值医用耗材库存普遍采用“零库存”管理办法, 对于使用频率高、需求量大的低值医用耗材库存则采用提前储备的管理办法。但是低值医用耗材的月消耗量不确定性大, 库存管理存在难度^[2]。月库存量大于月消耗量, 将造成医院资源配置不合理; 月库存量小于月消耗量, 将

影响患者的正常就诊。

调研发现, 医院储备低值医用耗材库存的需求普遍通过临床科室意见汇集法获得^[3-5], 每月各临床科室依照以往经验上报下月低值医用耗材需求, 经设备科审批后, 由采购中心负责采购。期间涉及多个部门的协调与交互, 一旦在上报需求中发现问题, 需要设备科递回相关科室, 科室修改后重新提交。耗材需求上报过程周期长、环节多, 消耗较多的人力和时间。为了提高低值耗材采购效率, 本文探讨研究一种适用于预测低值医用耗材库存需求的预测模型替代科室意见汇集法。

考虑到低值医用低值耗材的数据为按月统计, 具有历史样本量小、无特定分布规律且随时间变化相对稳定的特

收稿日期: 2020-06-22

通信作者: 郑焜, 教授级高级工程师, 主要研究方向为医学工程。

通信作者邮箱: zhengkun@zju.edu.cn

点, 兼顾到模型的预测效率与计算效率, 本文提出一种基于二次指数平滑和灰色马尔科夫的组合预测方法来研究适用于低值医用耗材需求预测的预测模型, 以期可以有效简化采购流程, 提高医院的采购效率。目前, 组合预测模型已经应用到零售、港口物流、电力输送等领域, 并验证了其有效性^[6-11]。Shaub^[12]的研究证明组合预测具有普遍适用性和准确性。

1 方法

本文选用二次指数平滑预测模型和灰色马尔科夫预测模型进行组合建模。其中, 二次指数平滑模型适用预测随时间变化相对稳定且未出现较大曲率的序列, 灰色马尔科夫模型适用历史样本量小且不具有规律性分布的序列。本研究针对组合预测模型在低值医用耗材需求预测上的应用, 主要研究组合模型中模型选取及权重确定问题, 希望能够找到适合预测低值医用耗材需求的组合预测模型。由于预测模型需要利用历史数据进行建模, 随着时间的变化, 每月会产生新的数据加入到初始建模数据中, 因此每隔一段时间需要对预测模型进行调整。为了方便研究, 本文选定 20 mL 的一次性使用无菌注射器需求量为预测对象, 以杭州某三甲儿童医院 2017 年 1 月至 2018 年 12 月的历史数据为基础 (表 1), 预测 2019 年 1—4 月的变化趋势。

表1 一次性使用无菌注射器使用量 (支)

时间	使用量	时间	使用量
2017.01	16900	2018.01	12000
2017.02	9700	2018.02	11900
2017.03	10900	2018.03	12000
2017.04	12000	2018.04	12400
2017.05	10300	2018.05	13100
2017.06	11000	2018.06	14000
2017.07	12400	2018.07	10900
2017.08	12000	2018.08	11100
2017.09	10900	2018.09	12200
2017.10	10500	2018.10	10100
2017.11	11000	2018.11	10200
2017.12	11100	2018.12	10900

1.1 二次指数平滑预测模型

二次指数平滑模型是一种时间序列预测模型, 运用回归分析法建立系列回归预测类模型。预测模型为 $y_{t+m} = a_t + b_t m$, 其中 m 为超前, a_t 和 b_t 为待定系数。

$$\begin{cases} a_t = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)} \\ b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) \end{cases} \quad (1)$$

平滑指数 $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1-\alpha) S_{t-1}^{(2)}$, $S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{(1)}$ 。 α 为平滑系数, 取值范围为 $0 < \alpha < 1$ 。在实际应用中, 当数据个数大于 15 时, 取 $S_0^{(1)} = S_0^{(2)} = y_0$ 。

分别对 α 取值 0.1、0.15、0.2、0.25、...、0.9、0.95, 比较 α 取不同值时的预测值和实际领用量的平均绝对误差。计算可得, 当 $\alpha=0.55$ 时均方误差值最小, 即预测模型效果最好。

建立二次指数平滑预测模型为 $y_m = 10652.50 - 92.43m$ 。

1.2 灰色马尔科夫预测模型

灰色预测法的理论是通过已知信息的研究, 从而正确认识部分信息不明确系统的系统行为, 不需要完全知道预测事物的影响因素^[13]。本文采用灰色 GM(1,1) 模型, 首先计算光滑比, 检验原始数据是否满足建模条件。设原始序列 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(24)\}$, $\rho(k) = \frac{x^{(0)}(k)}{\sum_{i=1}^{k-1} x^{(0)}(i)}$,

($k=2, 3, 4, \dots, 24$) 为序列的光滑比。经计算发现原始序列需取 0.5 次幂后, 才能满足当时间点 $k > 3$ 时, $\frac{\rho(k+1)}{\rho(k)} < 1$, 且 $\rho(k) \in [0, \varepsilon]$, $\varepsilon < 0.5$ 的准光滑条件, 因此将取幂后的序列作为预测模型的原始数列, 即 $\{X^{(0)}(k), k=1, 2, 3, \dots, 24\} = \{130, 98.4886, 104.4031, 109.5445, 101.4889, 104.8809, 111.3553, 109.5445, 104.4031, 102.4695, 104.8809, 105.3565, 109.5445, 109.0871, 109.5445, 111.3553, 114.4552, 118.3216, 104.4031, 105.3566, 110.4536, 100.4986, 100.995, 104.4031\}$ 。设 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$, $k=1, 2, \dots, 24$ 。经计算可得 GM(1,1) 预测模型如公式 (2) 所示。

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 108968.5476e^{0.00096876k} - 108838.5476 \quad (2)$$

从而由累减得到预测值如公式 (3) 所示。

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = 108968.5476(e^{0.00096876k} - e^{-0.00096876(k-1)}) \quad (3)$$

马尔科夫过程对于具有无后效性数据序列问题有着较高的预测精度, 系统在 $t+1$ 时刻的状态仅仅与 t 时刻所处的状态有关^[14]。马尔科夫链是马尔科夫过程的一种。注射器领用量可以看成理想离散时间序列, 适用于马尔科夫链, 本文采用马尔科夫链对灰色预测模型预测值进行修正。

按照实际值和灰色模型预测值的残差比重, 本文将残差比重在 -10%~5% 范围内的称为状态 1, 残差比重在 -5%~0% 范围内的称为状态 2, 残差比重在 0%~5% 范围内的称为状态 3, 残差比重在 5%~10% 范围内的称为状态 4。2017 年 1 月至 2018 年 12 月的 24 个月份中, 统计各状态出现频率如表 2 所示。

表2 状态转移频数统计表

	状态1	状态2	状态3	状态4
状态1	1	0	1	0
状态2	1	4	2	2
状态3	0	4	5	0
状态4	0	0	2	1

依据状态转移频次, 首先得到 2019 年 1 月的预测状态转移矩阵 $P^{(1)}$ 。

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0.11 & 0.45 & 0.22 & 0.22 \\ 0 & 0.44 & 0.56 & 0 \\ 0 & 0 & 0.67 & 0.33 \end{bmatrix}$$

由于 2018 年 12 月处于状态 2, 参照矩阵 P 第二行的最大值 0.45, 考虑 2019 年 1 月最大可能所处的状态是状态 2。状态 2 所处的残差比重范围是 -5%~0%, 所以取残差比重的中值对灰色预测值进行修正。

同理, 2019 年 1—4 月的状态转移矩阵如下。

$$(P^{(1)})^2 = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.22 & 0.53 & 0 \\ 0.1045 & 0.2993 & 0.4246 & 0.1716 \\ 0.0484 & 0.4444 & 0.4104 & 0.0968 \\ 0 & 0.2948 & 0.5963 & 0.1089 \end{bmatrix}$$

$$(P^{(1)})^3 = \begin{bmatrix} 0.1492 & 0.3322 & 0.4702 & 0.0484 \\ 0.0852 & 0.3215 & 0.4708 & 0.1225 \\ 0.0731 & 0.3806 & 0.4166 & 0.1297 \\ 0.0324 & 0.395 & 0.4717 & 0.1008 \end{bmatrix}$$

$$(P^{(1)})^4 = \begin{bmatrix} 0.1111 & 0.3564 & 0.4434 & 0.0891 \\ 0.0780 & 0.3519 & 0.4590 & 0.1111 \\ 0.0784 & 0.3546 & 0.4405 & 0.1265 \\ 0.0597 & 0.3853 & 0.4348 & 0.1202 \end{bmatrix}$$

在灰色预测模型的基础上,经过马尔科夫误差状态转移矩阵修正最终可得预测数据。

1.3 组合预测模型

组合预测模型是将两种以上单一预测方法进行组合后,再对同一个预测对象进行预测的方法^[15]。理论和实践研究表明,组合预测模型的预测精度比任意一种单一预测模型的精度都要高^[16]。本文选用二次指数平滑预测模型和灰色马尔科夫预测模型进行线性组合,分别利用变异系数法、简单加权法和方差倒数法来确定线性组合的权重。根据使用经验,误差越大的预测方法,其在组合模型中的权重越小,误差越小的预测方法,其在组合模型中的权重越大^[16]。组合预测模型的计算公式为: $\hat{Y}_k = \omega_1 \hat{y}_{1k} + \omega_2 \hat{y}_{2k}$, \hat{Y} 表示组合预测值, ω_1 表示二次指数平滑预测模型在组合预测模型中的权重, \hat{Y}_{1k} 表示二次指数平滑预测模型的预测值, ω_2 表示灰色马尔科夫预测模型在组合预测模型中的比重, \hat{Y}_{2k} 表示灰色马尔科夫预测模型的预测值。

1.3.1 变异系数法

变异系数法是直接利用各个预测模型所包含的信息,通过计算得到某单一模型的权重。由于各个模型的销量不同,不宜直接比较其差异程度。为了消除各个模型销量不同的影响,需要用各单一模型的变异系数来衡量差异程度。各模型的变异系数公式: $v_i = \frac{\delta_i}{\bar{x}_i}$, $i=1,2,\dots,n$ 。在本研究中 v_i 表示第 i 种预测模型的变异系数, δ_i 表示第 i 种预测模型的相对误差的平均数, \bar{x}_i 表示第 i 种预测模型的相对误差的标准差。由变异系数可求得组合预测中各单一预测模型的权重: $\omega_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$, $i=1,2,\dots,24$ 。

经计算可得组合预测模型为: $y = 0.55y_1 + 0.45y_2$, 其中 y 为组合预测值, y_1 为二次指数平滑模型预测值, y_2 为灰色马尔科夫模型预测值。根据组合预测模型的公式及各单一预测模型的预测值,可以计算出基于变异系数法的组合预测模型的预测值。

1.3.2 简单加权法

简单加权法确定权重的公式为: $\omega_i = \frac{i}{\sum_{i=1}^n i}$, $i=1,2,\dots,n$, i 代表第 i 种预测模型, n 代表预测模型个数。本研究选用两个单一模型,所以权重系数分别为 $\frac{1}{3}$ 和 $\frac{2}{3}$ 。由实际计算可知二次指数平滑预测模型的均方根误差大于灰色马尔科夫

预测模型的均方根误差,所以在组合模型中,灰色马尔科夫预测模型占较大权重。得到组合预测模型公式为: $y = 0.33y_1 + 0.67y_2$, 其中 y 为组合预测值, y_1 为二次指数平滑模型预测值, y_2 为灰色马尔科夫模型预测值。计算可得简单加权的组合预测模型的预测值。

1.3.3 方差倒数法

方差倒数法确定权重的计算公式为: $\omega_i = \frac{D_i^{-1}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-1}}$, $i=1,2,\dots,n$,

D_i 表示第 i 种预测模型的误差平方和, n 表示预测模型个数。计算可得组合预测模型公式为: $y = 0.37y_1 + 0.63y_2$, 其中 y_1 为二次指数平滑模型预测值, y_2 为灰色马尔科夫模型预测值。

2 结果

根据 20 mL 一次性使用无菌注射器 2017 年 1 月至 2018 年 12 月的历史领用数据,分别利用二次指数平滑预测模型和灰色马尔科夫预测模型对 2019 年 1—4 月的库存需求进行预测,预测结果如表 3 所示。

表3 2019年1—4月一次性使用无菌注射器预测结果(支)

时间	实际值	二次指数平滑预测值	灰色马尔科夫预测值
2019.01	10800	10560.06	11086.04
2019.02	12300	10467.64	13504.18
2019.03	9900	10375.2	10017.01
2019.04	11000	10282.77	11151.84
相对误差平均值/%		7.11	3.75
均方根误差		1019.23	626.22

从表 3 可以看出利用二次指数平滑预测模型计算得出的预测值与实际值偏差较大,相对误差平均值高于 5%。相较于二次平滑预测模型,灰色马尔科夫预测模型的准确度较好,相对误差平均值小于 5%。

三种分别由变异系数法、简单加权法和方差倒数法确定单一模型权重的组合模型的预测结果表 4 所示。A 代表由变异系数法确定单一模型权重的组合模型, B 代表由简单加权法确定单一模型权重的组合模型, C 代表由方差倒数法确定单一模型权重的组合模型。

表4 组合预测模型预测结果(支)

时间	实际值	A	B	C
2019.01	10800	10796.00	10912.46	10890.83
2019.02	12300	11829.74	12502.12	12377.23
2019.03	9900	10214.53	10135.21	10149.94
2019.04	11000	10672.61	10865.04	10829.30
相对误差平均值/%		2.5	1.57	1.39
均方根误差		326.83	178.21	162.65

从表 4 中可以看出,相较于单一的预测模型,组合预测模型的预测准确度得到了大大的提升。三种组合预测模型的相对误差均值都远小于 5%,其中方差倒数法确定权重的组合预测模型与实际需求数量的均方根误差为 162.65,相对误差均值仅为 1.39%,与实际需求数量几乎一致,所

以组合预测模型适用于低值医用耗材的库存需求预测。

3 讨论与结论

针对低值医用耗材需求提交月计划时存在环节多、主观因素影响大和效率低等问题,本研究提出利用由二次指数平滑预测模型和灰色马尔科夫预测模型组合得到的组合模型来预测次月的医用耗材需求。

本文通过变异系数法、简单加权法和方差倒数法这三种模型权重确定方法,分别得到三种组合模型。三种组合预测模型分别预测了浙江某三甲医院2019年1—4月的20 mL一次性使用无菌注射器的需求量。预测结果显示,三种组合预测模型的相对误差均值均小于5%,并且其均方根误差远小于二次指数平滑预测模型和灰色马尔科夫预测模型预测结果的均方根误差,这表明组合预测模型在医用耗材需求预测中有较高的可行性。三种组合模型中,由方差倒数法确定单一预测模型权重的组合模型相对误差均值最小,其可行性最高。

国内外对于医用耗材预测的方法主要有线性模型与非线性模型,此外模糊理论和灰度理论也有应用。在线性模型预测中,许亮业等^[17]进行了ARIMA模型在医用低值耗材需求预测的研究,使用自回归积分滑动平均的方法,能够准确地进行医用低值耗材的短期预测,并将其应用于医院物资管理信息系统中。但其构建模型需要的历史数据量大,且模型预测的误差较大。在非线性模型预测中,Xu等^[18]提出支持向量机模型进行医疗设备数量预测,该模型预测效果优异,但核函数、参数的选择以及惩罚参数等额外参数需要根据经验进行设定,无特定理论支撑,且庞大算法存在高时耗、低功效的问题。Foucade等^[19]使用灰度理论模型进行医疗需求预测,但预测结果存在预测滞后性和拐点误差大等问题。

将本文研究的组合预测模型与上述模型进行比较,对比自回归积分滑动平均法,其使用了8年的历史数据进行预测,预测的绝对误差为8.58%^[17];本文提出的模型使用了两年的历史数据即可进行精准地预测,预测的绝对误差最优为1.39%。对比支持向量机模型,本文提出的模型不需要额外的核函数参数、惩罚函数参数等参数,且无需进行大量复杂的运算即可得出结果,预测精度也与之相近。综合上述分析,本文提出的组合预测模型具有历史数据依赖少,计算量小,具有高预测精度的优点。

当然,由于低值医用耗材种类繁多并且外部影响因素多变,并不是所有低值医用耗材都适用于本文探讨的预测模型。本模型适用于需求量大,且用量随时间变化相对稳定的低值医用耗材。针对需求量小并且需求量波动较大的低值医用耗材来说,本模型并不完全适用。接下来,将本文提出的模型对外科医用口罩、医用消毒液、垫单、输液管等低值医用耗材进行持续跟踪预测,进一步验证模型的有效性。

[参考文献]

- [1] 国家卫生健康委,国家中医药局.关于印发医疗机构医用耗材管理办法(试行)的通知[EB/OL].(2019-06-06)[2020-05-01].
http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/20/content_5401876.htm.
- [2] 刘刚.医用耗材的采购管理[J].医疗装备,2020,33(7):54-55.
- [3] 郭红,张涵宇,王爱英,等.基于多模式物流管理的医用耗材全流程信息化精细化管理体系建设与实践[J].中国医疗设备,2020,35(1):111-114.
- [4] 董芳芳,王雄,李杨茜.公立医院医用耗材管理存在的问题及对策[J].中国社会医学杂志,2019,36(3):231-233.
- [5] 翁怡毅,严彩霞,龚晓.某三甲综合性医院医用耗材科学管理的探索与实践[J].中国卫生产业,2019,16(16):94-95.
- [6] 周颖,罗利,章怡,等.组合预测模型在医用耗材库存需求预测中的应用[J].中国卫生统计,2013,30(6):896-898.
- [7] 叶明亮.应用时间序列组合预测方法的卷烟销售预测模型[J].福建电脑,2020,36(2):63-67.
- [8] 吴涵,张立,刘岱,等.港口物流需求趋势预测方法研究——基于组合预测模型对重庆港口物流需求趋势分析[J].价格理论与实践,2019,(9):75-78.
- [9] 江婷.D公司基于需求预测的运动服装面料库存优化研究[D].上海:东华大学,2018.
- [10] 段磊.基于组合需求预测模型的S公司库存控制研究[D].南京:南京航空航天大学,2019.
- [11] 谭风雷,张军,马宏忠.基于趋势变化分段的电力负荷组合预测方法[J].华北电力大学学报(自然科学版),2020,47(2):17-24.
- [12] Shaub D.Fast and accurate yearly time series forecasting with forecast combinations[J].*Int J Forecast*,2020,36(1):116-120.
- [13] 李尚谦,刘筱滢,张翔.基于灰色系统GM(1,1)模型的湖北省卫生人力资源需求预测研究[J].卫生软科学,2020,34(3):49-53.
- [14] 吴箬,夏莉莉,高一欣,等.基于马尔科夫修正的江苏省医护比灰色预测研究[J].中国卫生统计,2020,37(1):33-36.
- [15] 凌立文,张大斌.组合预测模型构建方法及其应用研究综述[J].统计与决策,2019,35(1):18-23.
- [16] 钟梅,袁宏俊.基于改进的组合预测误差区间数组合预测模型[J].统计与决策,2017,(22):5-10.
- [17] 许亮业,张琪,张诚.基于自回归积分滑动平均模型的医用低值耗材需求量预测研究[J].中国医疗设备,2017,32(7):147-149.
- [18] Xu SJ,Chan HK.Forecasting medical device demand with online search queries: a big data and machine learning approach[J].*Procedia Manuf*,2019:32-39.
- [19] Foucade A,Gabriel S,Scott E,*et al.*A Survey of selected grey forecasting models with application to medical tourism forecasting[J].*Theoretic Econ Lett*,2019,9(4):1079-1092.

本文编辑 王晨晨