

文章编号: 1000-5862(2015)01-0040-06

灰色马尔可夫模型的改进及农业受灾面积预测应用

刘 辉¹ 龚海林²

(1. 江西师范大学软件学院, 江西 南昌 330022; 2. 江西师范大学数学与信息科学学院, 江西 南昌 330022)

摘要: 针对传统的 GM(1,1) 模型对波动性较大的数据预测精度较低的问题, 进行了 2 次改进并分别与马尔可夫链预测相结合建立了灰色马尔可夫模型. 将各模型应用于江西农业受灾面积预测, 结果表明, 改进的灰色模型和灰色马尔可夫模型拟合精度较传统方法均有明显提高, 验证了改进的灰色马尔可夫模型的有效性.

关键词: 灰色模型; 马尔可夫; 预测; 受灾面积

中图分类号: S 11; N 941.5 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2015.01.07

0 引言

灰色系统理论是由我国学者邓聚龙教授于 1982 年提出的, GM(1,1) 预测模型是该理论最重要的内容之一, 它不考虑研究对象的影响因素, 而是从其自身时间序列中寻找有用信息, 探索其内在规律来进行预测. 该模型具有所需数据量少、原理简单、运算方便、预测精度较高等优点, 已经被广泛的应用于众多领域, 但它也存在很多缺陷, 对长期预测和波动性较大的序列预测精度不高. 近年来, 许多学者对其进行了改进并在实际应用中取得了较好的效果, 改进工作主要从以下几方面着手: 原始数列的处理^[1-2]、初始值的修正^[3-5]、优化灰导数^[6]、优化背景值^[7]、优化时间响应函数^[8-9]、灰色作用量的优化^[10]、残差的修正^[11]等.

在实际应用中, 不少学者采用了多方面优化 GM(1,1) 模型相结合的方法来提高其预测精度^[12-14]. 本文将在文献[15-17]的基础上进一步探索 GM(1,1) 模型的优化问题, 给出 2 种优化灰色模型的方法, 再利用其对江西省的农业受灾面积进行预测; 由于原始数据波动性较大, 单一的灰色模型预测效果不佳, 考虑到马尔可夫模型适用于波动性较大的数列预测, 这一点可以弥补灰色模型的缺陷, 最后将优化的 GM(1,1) 模型和马尔可夫模型相结合来预测受灾面积, 并验证其是否有效和可靠.

1 传统 GM(1,1) 模型

通过对原始数据序列 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ 作 1 阶累加生成 (1-AGO), 可以得到新的序列 $x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$.

将 $x^{(1)}$ 拟合成 1 阶线性微分方程^[3,18]: $dx^{(1)}/dt + ax^{(1)} = b$, 其中 a 为发展系数, 它反映 $x^{(0)}$ 与 $x^{(1)}$ 的发展趋势; b 为灰色作用量, 它反映了数据变化的关系. 2 者均为待确认参数. 运用最小二乘法原理解得 $(a, b)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$, 其中

$$B = \begin{bmatrix} -[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)]/2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)]/2 & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}.$$

解微分方程得到时间响应序列为 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = ce^{-ak} + b/a$, $k = 0, 1, \dots$, 其中 c 为待定常数, $\hat{x}^{(1)}(k)$ 为 $x^{(1)}(k)$ 的预测值, 初始条件满足 $\hat{x}^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$, 从而得出 $c = x^{(0)}(1) - b/a$, 进而解得时间响应函数为 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - b/a)e^{-ak} + b/a$, 累减还原得到灰色模型

$$\begin{cases} \hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) = \\ (1 - e^a)(x^{(0)}(1) - b/a)e^{-ak}, k = 1, 2, \dots, \\ \hat{x}^{(0)}(1) = x^{(0)}(1). \end{cases}$$

收稿日期: 2014-10-10

基金项目: 江西省教育厅科技计划课题(GJJ14231)和江西师范大学规划课题(6050)资助项目.

作者简介: 刘 辉(1989-), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 主要从事数量经济学方面的研究.

由于灰色模型体现的是预测对象的潜在规律,并未考虑数据的随机波动性,因此用于预测还不够完善,需要用马尔可夫链对其进行修正。

2 灰色马尔可夫模型

首先由灰色模型^[19]得各年份的拟合值 $\hat{x}^{(0)}(k)$,其次计算残差相对值 $\varepsilon^{(0)}(k) = [x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)]/x^{(0)}(k) \times 100\%$,然后将残差相对值根据问题的需要和原始数据的数量进行状态划分,尽量使得划分的状态区间内的数据量接近,目前针对划分的区间个数还没有统一的标准。一般来说,当原始数据较少时,划分区间不宜过多,以便增多各状态间的转移次数,从而客观地反映各状态间的转移规律;而当原始数据较多时,可以增加划分区间的数量,以便从原始信息中挖掘更多的信息,提高预测精度。

记划分的若干状态为 E_1, E_2, \dots, E_m , k 步转移概率为残差相对值序列由状态 E_i 经 k 步转移到状态 E_j 的概率,记作 $P_{ij}(k) = M_{ij}/M_i$,其中 M_i 表示状态 E_i 出现的次数, M_{ij} 表示状态 E_i 经 k 步转移到状态 E_j 的次数,得到 k 步状态转移概率矩阵

$$P(k) = \begin{bmatrix} P_{11}(k) & P_{12}(k) & \cdots & P_{1m}(k) \\ P_{21}(k) & P_{22}(k) & \cdots & P_{2m}(k) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{m1}(k) & P_{m2}(k) & \cdots & P_{mm}(k) \end{bmatrix},$$

其中 $\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1$ 。实际应用中一般只采用1步状态转移概率矩阵,若 $\max_j P_{kj} = P_{kl}$,则认为下一个时刻系统由状态 E_k 转向状态 E_l 的可能性最大。

计算出状态转移概率矩阵后,选取最新时刻所处状态对应的行向量作为下一时刻的预测状态向量,然后根据各状态所处的残差相对值区间的两端点值 $\varepsilon^{(0)}(k)$,利用公式 $\varepsilon^{(0)}(k) = [x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)]/x^{(0)}(k)$ 对灰色预测模型所得结果进行修正,得到灰色马尔可夫模型的2个预测值 $x^{(0)}(k)$,2者构成了下一时刻的受灾面积区间,同时计算了其期望值。

3 灰色马尔可夫模型的改进

3.1 改进的灰色马尔可夫模型 I

由于本文实例中的江西省农业受灾面积大小在波动中呈上升趋势,故参照文献[15]对此模型进行改进。该文首先对原始序列进行指数变换 $x^{(0)} =$

$P^{Q(0)} (0 < P < 1)$,使处理后的序列更平稳,其中 $Q^{(0)} = \{q^{(0)}(1), \dots, q^{(0)}(n)\}$ 为原始非负数列;然后利用优化的灰导数方法解出灰色模型参数 a, b ,满足 $(a, b)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$,其中

$$B = \begin{bmatrix} -x^{(1)}(2) & 1 \\ -x^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -x^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{x^{(0)}(1)x^{(0)}(2)}{x^{(0)}(2) - x^{(0)}(1)} \ln \frac{x^{(0)}(2)}{x^{(0)}(1)} \\ \frac{x^{(0)}(2)x^{(0)}(3)}{x^{(0)}(3) - x^{(0)}(2)} \ln \frac{x^{(0)}(3)}{x^{(0)}(2)} \\ \vdots \\ \frac{x^{(0)}(n-1)x^{(0)}(n)}{x^{(0)}(n) - x^{(0)}(n-1)} \ln \frac{x^{(0)}(n)}{x^{(0)}(n-1)} \end{bmatrix},$$

将初始值修正为 $\hat{x}^{(1)}(1) = \beta_1 x^{(0)}(1) + \beta_2 x^{(0)}(2)$,其中 $\beta_1 + \beta_2 = 1$,计算出常数 c ,进而得到时间响应函数 $\hat{x}^{(1)}(k) = (\beta_1 x^{(0)}(1) + \beta_2 x^{(0)}(2) - b/a) e^{-a(k-1)} + b/a (k=1, \dots, n)$,由 $S = \sum_{k=1}^n (x^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k))^2$ 取得最小值可以解得参数 β_1, β_2 ,从而得到 $\hat{x}^{(0)}(k)$,最后还原到原始数据预测值 $\hat{q}^{(0)}(k) = \log_p \hat{x}^{(0)}(k)$ 。

文献[15]对GM(1,1)模型进行了3方面的改进,但仍存在一些缺陷:1)取 $P = 0.95$,但该值的确定在文献[15]中未做任何解释;2)初始值仅是原始数列前2个数据的线性组合,未充分利用最新信息。鉴于此,本文在 M_{APE} (平均绝对百分比误差)取得最小值的情况下计算出 P 的值。目前对初始条件的处理有多种方法,灰色系统理论的新信息优先原理认为新信息对系统的认知作用大于旧信息,越新的数据对预测值的影响越大,文献[5]将初始条件 $x^{(0)}(1)$ 改为 $x^{(1)}$ 的第 n 个分量 $x^{(1)}(n)$,即 $\hat{x}^{(1)}(n) = x^{(1)}(n)$,则 $\hat{x}^{(1)}(k) = (x^{(1)}(n) - b/a) e^{-a(k-n)} + b/a$,这对灰色模型进行了改进,大大提高了模型的预测精度。也有一些学者认为使模型预测精度最高的初始值不一定是原始数列中的某一个值,笔者借鉴文献[3]对 $\hat{x}^{(1)}(n)$ 的取值同样以 S 取最小为准则,此时

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \frac{\sum_{k=1}^n (x^{(1)}(k) - b/a) e^{-a(k-n)}}{\sum_{k=1}^n e^{-2a(k-n)}} e^{-a(k-n)} + b/a.$$

当然,对模型的改进不代表结果一定会更准确,

故同时考虑初始条件仍为 $\hat{x}^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$, 本文将选取拟合精度最高的优化 GM(1,1) 模型, 然后与马尔可夫模型相结合预测江西省农业受灾面积。

3.2 改进的灰色马尔可夫模型 II

传统 GM(1,1) 模型的实质是以指数型曲线去拟合原始数据, 其预测结果是 1 条较平滑的曲线, 文献[16-17] 采用了带有波动的多项式代替灰色模型中的指数型曲线从而得到新的灰色预测模型, 它们均采用的是 3 次多项式, 而实际上多项式的次数会影响到模型的预测精度, 本文将利用数学软件 Matlab 7.0 中的曲线拟合工具箱 *cftool* 来选择合适的多项式, 该工具箱操作简单, 计算结果全面, 对拟合结果有一些性能说明, 包括误差平方和 (S_{SE})、拟合优度 (R^2) 和均方根误差 (R_{MSE}) 等, 这将有助于多项式次数的选取。GM(1,1) 模型的优化求解过程为: 1) 对序列 $x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$ 应用工具箱 *cftool* 进行多项式拟合, 得到灰色预测的 m 次多项式为 $\hat{x}^{(1)}(t) = a_m t^m + a_{m-1} t^{m-1} + \dots + a_0$; 2) 根据 $x^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t)$ 求出改进后的灰色模型预测值; 3) 仍按上述步骤计算灰色马尔可夫模型预测值。

由于当预测较远节点的状态时, 较早的数据对预测的影响不大, 故采用递进转移概率矩阵的方法, 去掉最旧的 1 个原始数据并补充最新的预测数据形成新的 1 步状态转移概率矩阵, 这样能充分利用各状态之间的内在规律性, 提高预测精度^[16, 19]。

4 实证分析

从《中国统计年鉴》中收集江西省 2000—2011 年农业受灾面积数据, 利用 Matlab 7.0 软件编程求得传统 GM(1,1) 模型历年拟合值(见表 1), 误差范围为 $[-79.78\%, 35.88\%]$, M_{APE} 达到了 27.53% (不含 2000 年), 拟合效果较差。下面来探究改进的灰色模型拟合精度, 当初始条件为 $\hat{x}^{(1)}(n) = x^{(1)}(n)$ 时, 可求得当 $P = 0.9701$ 时 M_{APE} 最小值为 31.00%, 高于传统灰色模型的 27.53%, 其原因可能是受到 P 的取值范围影响。经 Matlab 7.0 软件多次测试, 本文中 P 的有效范围是 $[0.97, 1]$; 而当初始条件满足 S 最小时可得 $P = 0.9956$ 且 M_{APE} 最小值为 23.19%, 较传统灰色模型有一定改善; 初始条件若仍为 $\hat{x}^{(1)}(1) = x^{(0)}(1)$, 此时有 $P = 0.9968$, M_{APE} 最小值为 21.67%, 拟合效果更佳(前者包括

2000 年拟合结果), 故后文选择该方法优化灰色模型来进行预测。拟合结果如表 1 所示, 可以看出拟合精度有待进一步提高。

表 1 灰色模型拟合结果

年份	实际值 / (10^3 hm^2)	传统灰色模型		改进的灰色模型 I	
		拟合值	误差 /%	拟合值	误差 /%
2000	1 416	1 416	0.00	1 416	0.00
2001	630	1 133	-79.78	877	-39.14
2002	1 040	1 182	-13.62	952	8.43
2003	1 823	1 233	32.38	1 028	43.60
2004	1 122	1 286	-14.63	1 104	1.62
2005	1 426	1 342	5.91	1 180	17.28
2006	1 256	1 400	-11.45	1 255	0.06
2007	1 320	1 460	-10.63	1 331	-0.84
2008	2 376	1 524	35.88	1 407	40.79
2009	1 352	1 589	-17.56	1 483	-9.66
2010	2 075	1 658	20.09	1 558	24.90
2011	1 075	1 730	-60.92	1 634	-52.01
$M_{APE}/\%$		27.53		21.67	

改进的灰色模型 I 拟合误差范围为 $[-52.01\%, 43.60\%]$ 较传统灰色模型有所缩小, 考虑将状态划分区间数为 4 或 5 个, 为使 M_{APE} 尽量小, 划分的状态区间分别为 $E_1 = (-53\%, -10\%]$, $E_2 = (-10\%, 8\%]$, $E_3 = (8\%, 38\%]$, $E_4 = (38\%, 44\%]$ 和 $F_1 = (-53\%, -25\%]$, $F_2 = (-25\%, -8\%]$, $F_3 = (-8\%, 8\%]$, $F_4 = (8\%, 38\%]$, $F_5 = (38\%, 44\%]$, 灰色马尔可夫模型拟合结果如表 2 所示, 可看出当划分区间数为 5 个时效果更佳, 此时 M_{APE} 仅为 4.29%, 且各年误差基本在 8% 以内, 而传统灰色马尔可夫模型的 M_{APE} 达到 6.97%, 且有 4 年的拟合误差超过了 10%, 最大误差高达 -19.86% (传统灰色马尔可夫模型划分的状态区间为 $N_1 = (-80\%, -20\%]$, $N_2 = (-20\%, -11\%]$, $N_3 = (-11\%, 11\%]$, $N_4 = (11\%, 36\%]$)。改进的灰色马尔可夫模型 I 拟合效果明显改善, 但最大误差达到了 -18.92%, 严重影响到未来受灾面积的预测。

接下来考虑改进的灰色马尔可夫模型 II。利用 Matlab 7.0 软件求得不同次数的多项式相应模型的预测值折线(见图 1), 对应拟合值的 M_{APE} 分别为 27.98%、23.68%、24.60%。结合图 1 可看出当 $m = 3$ 时预测效果最佳, 当 $m = 5$ 时拟合值的 M_{APE} 虽只有 15.75%, 但对未来 2 年的预测值出现负数, 这显然不合理, 因此取 $m = 3$, 对应的多项式为

$$\hat{x}^{(1)}(t) = -3.437t^3 + 103.4t^2 + 633.1t + 577.$$

表 2 灰色马尔可夫模型拟合结果

年份	实际值 (10 ³ hm ²)	传统灰色马尔可夫模型		灰色马尔可夫模型 I		灰色马尔可夫模型 II	
		拟合值	误差 /%	拟合值	误差 /%	拟合值	误差 /%
2000	1 416	1 416	0.00	1 402	0.99	1 416	0.00
2001	630	755	- 19.86	667	- 5.81	631	- 0.10
2002	1 040	1 023	1.63	1 237	- 18.92	1 237	- 18.92
2003	1 823	1 611	11.60	1 743	4.41	1 743	4.41
2004	1 122	1 114	0.76	1 093	2.60	1 104	1.62
2005	1 426	1 342	5.91	1 532	- 7.43	1 532	- 7.43
2006	1 256	1 212	3.51	1 243	1.05	1 255	0.06
2007	1 320	1 460	- 10.63	1 318	0.16	1 331	- 0.84
2008	2 376	1 992	16.18	2 384	- 0.35	2 384	- 0.35
2009	1 352	1 376	- 1.78	1 468	- 8.57	1 273	5.87
2010	2 075	2 168	- 4.46	2 024	2.47	2 024	2.47
2011	1 075	1 153	- 7.28	1 243	- 15.60	1 176	- 9.36
$M_{APE}/\%$		6.97		5.70		4.29	

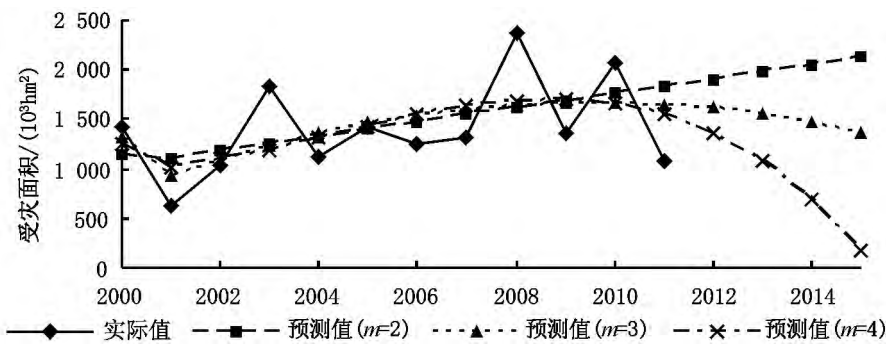


图 1 改进的灰色模型 II 预测值

根据多项式得到改进的灰色模型 II 各年拟合值(见表 3),其拟合效果较传统的灰色模型有所改善,误差区间范围为 $[-53.21\%, 32.53\%]$,对应的灰色马尔可夫模型状态划分区间为 $H_1 = (-54\%, -30\%]$, $H_2 = (-30\%, -15\%]$, $H_3 = (-15\%, 19\%]$, $H_4 = (19\%, 33\%]$,拟合精度有所提高,最大误差缩小至 8.82%, M_{APE} 为 4.48%,与文献[20-21]中的预测误差大小接近,结果较为满意,这表明该模型可以用来预测江西省农业受灾面积。

考虑将改进的 2 个灰色马尔可夫模型进行组合^[21],平衡各模型的拟合偏差,进一步提高拟合精度,若按等权平均法组合, M_{APE} 减小到 4.03%,但最大误差增大到 -12.70%,2011 年误差也达到 -8.64%;若按均方倒数法组合,两模型的权重分别为 0.538 4 0.461 6, M_{APE} 为 4.01%,最大误差为 -13.18%,2011 年预测误差为 -8.70%;若按最优加权法组合^[21],权重分别为 0.616 3 0.383 7, M_{APE} 进一步减小,仅为 3.98%,但最大误差提高至 -14.15%,2011 年预测误差为 -8.82%;若要使 M_{APE} 最小,可采用之前求 P 值的类似方法求得权重

分别为 0.777 3 0.222 7, M_{APE} 只有 3.92%,但最大误差高达 -16.16%,综合考虑模型组合后的精度改善程度和计算复杂程度,本文决定采用改进的灰色马尔可夫模型 II 来进行预测。

江西省受灾面积一步状态转移概率矩阵为

$$P(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0.50 \\ 0.33 & 0.33 & 0 & 0.34 \\ 0.33 & 0.67 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

因 2011 年受灾面积处于状态 H_1 ,故 2012 年的预测状态向量为 $(0 \ 0 \ 1 \ 0)$,从而 2012 年江西省受灾面积将处于状态 H_3 ,采用滑动转移概率预测 2013 年的受灾面积,去掉 2000 年的状态值,加入刚预测出来的 2012 年的状态值,2012 年的状态值只有 H_3 1 种可能,计算新的 1 步状态转移矩阵为

$$P^{H_3}(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0.50 \\ 0 & 0.50 & 0 & 0.50 \\ 0.33 & 0.67 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

故 2013 年的预测状态向量为 $P = (0 \ 0 \ 1 \ 0)$,

$P^{\mu_3}(1) = (0.5 \ 0.5)$.

预测结果如表 4 所示.

表 3 相关模型拟合结果

年份	改进的灰色模型 II		灰色马尔可夫模型 I		灰色马尔可夫模型 II	
	拟合值	误差 /%	拟合值	误差 /%	拟合值	误差 /%
2000	1 310	7.49	1 416	0.00	1337	5.60
2001	919	-45.87	631	-0.10	647	-2.73
2002	1 085	-4.33	1 237	-18.92	1107	-6.46
2003	1 230	32.53	1 743	4.41	1662	8.82
2004	1 354	-20.68	1 104	1.62	1105	1.49
2005	1 458	-2.24	1 532	-7.43	1488	-4.33
2006	1 540	-22.61	1 255	0.06	1257	-0.09
2007	1 604	-21.52	1 331	-0.84	1309	0.80
2008	1 645	30.77	2 384	-0.35	2223	6.44
2009	1 666	-23.22	1 273	5.87	1360	-0.59
2010	1 667	19.66	2 024	2.47	2253	-8.56
2011	1 647	-53.21	1 176	-9.36	1160	-7.89
$M_{APE}/\%$	23.68		4.29		4.48	

表 4 2012—2013 年预测结果

年份	改进的灰色模型 II	灰色马尔可夫模型 II	预测区间	概率
2012	1 606	1 690	1 396.52 ~ 1 982.72	1.0
2013	1 545	1 686	1 188.46 ~ 1 343.48	0.5
			1 907.41 ~ 2 305.97	0.5

2011 年是近 10 年来江西省受灾面积最小的年份,从表 4 中结果来看,2012 与 2013 年受灾面积较 2011 年会有明显上升,改进的灰色马尔可夫模型 II 得到的 2 年期望值结果比较接近,但 2013 年较 2012 年可能的受灾面积范围更广,有 50% 的可能性出现受灾严重(与历年比较来看)的情况.

5 研究结论及展望

本文在前人的研究基础上给出了 2 种改进 GM(1,1) 模型的方法,实例结果表明,改进方法提高了模型的拟合精度,缩小了拟合误差范围,其中采用带波动的多项式替代灰色模型中的指数形曲线来改进模型,再与马尔可夫模型结合后拟合效果有所改善,平均误差为 4.48%,可用于江西农业受灾面积的预测,为江西省的灾害预测提供了一种科学方法.对 2012—2013 年的预测不仅得到预测年份的受灾面积区间,而且还得到区间产生的概率.根据预测得到的期望值和状态概率可以更准确地把握农业受灾面积的总体发展趋势,相关部门可针对性地提前做好减灾对策和措施,减少灾害损失,预测结果可供有关部门参考.

需要指出的是,灰色马尔可夫模型的计算结果会受到灰色模型误差范围大小以及状态划分的影响,

可能出现灰色模型预测精度较高但对应的灰色马尔可夫模型预测精度反而较低的情况.而划分状态区间的个数以及区间大小要根据问题的实际情况来定,没有统一的标准,这在表 2 中得到了体现,改进的灰色模型拟合误差范围较广,同时在小范围内过于集中,导致当划分区间数较少时误差相对较大,而且调整区间大小会影响其精度,当使最大误差减小时,平均误差又会有所增大,对于状态的划分有待进一步研究.

6 参考文献

[1] 宋晓宇,刘春会,常春光.基于改进 GM(1,1) 模型的应急物资需求量预测[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2010,26(6):1214-1218.

[2] 郑文琛,吉培荣,罗贤举.改进无偏 GM(1,1) 模型及其在中长期电力负荷预测中的应用[J].继电器,2008,36(5):36-40.

[3] 何俊,张玉灵.灰色预测模型的优化及应用[J].数学的实践与认识,2013,43(6):86-91.

[4] 李俊峰,戴文战.GM(1,1) 改进模型的研究及在上海市发电量建模中的应用[J].系统工程理论与实践,2005,3(3):140-144.

[5] 党耀国,刘思峰,刘斌.以 $x^{(1)}(n)$ 为初始条件的 GM 模型[J].中国管理科学,2005,13(1):132-135.

- [6] 李玻, 魏勇. 优化灰导数后的新 GM(1,1) 模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(2): 100-105.
- [7] 李星毅, 李奎, 施化吉, 等. 背景值优化的 GM(1,1) 预测模型及应用 [J]. 电子科技大学学报, 2011, 40(6): 911-915.
- [8] 刘发全, 职承杰. 灰色预测 GM(1,1) 模型的一点改进 [J]. 数学的实践与认识, 2005, 35(11): 11-15.
- [9] 刘斌, 刘思峰, 翟振杰, 等. GM(1,1) 模型时间响应函数的最优化 [J]. 中国管理科学, 2003, 11(4): 54-57.
- [10] 徐华锋, 刘思峰, 方志耕. GM(1,1) 模型灰色作业量的优化 [J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(2): 26-32.
- [11] 林文新, 王建伟, 袁长伟. 高速公路交通量预测的 GM(1,1) 残差改进模型 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2011, 31(5): 77-80.
- [12] 张彬, 西桂权. 基于背景值和边值修正的 GM(1,1) 模型优化 [J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(3): 682-688.
- [13] 李宏坤, 赵长生, 郭骋, 等. GM(1,1) 模型改进算法及其应用研究 [J]. 大连理工大学学报, 2011, 51(6): 814-818.
- [14] 张怡, 魏勇, 熊常伟. 灰色模型 GM(1,1) 的一种新优化方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2007, 4(4): 141-146.
- [15] 钟昌宝, 聂茂林, 徐永其. 基于灰色马尔柯夫改进模型预测供应链独立需求 [J]. 情报杂志, 2009, 28(6): 199-203.
- [16] 胡宝雨, 王孝坤, 陈燕. 双重改进灰色马尔可夫模型的物流园区物流量预测 [J]. 大连海事大学学报, 2011, 37(1): 91-94.
- [17] 张恩明, 王艳, 李文红. 改进的灰色马尔可夫模型在股票分析中的应用 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(11): 1292-1295.
- [18] 王金凤, 余华杰, 冯立杰, 等. 基于灰色马尔可夫模型的煤层气抽采量预测 [J]. 工业工程与管理, 2012, 17(4): 108-113.
- [19] 周廷慰, 周宗福. 改进的灰色马尔可夫组合预测模型应用研究 [J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2012, 29(1): 24-28.
- [20] 姜翔程, 陈森发. 加权马尔可夫 SCGM(1,1) 模型在农作物干旱受灾面积预测中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(9): 179-185.
- [21] 王守荣, 达庆利, 黄凤喜. 中国农业受灾与成灾面积预测研究 [J]. 气象学报, 2003, 61(1): 106-115.

The Improved Grey-Markov Model and Its Application in Forecasting the Agricultural Disaster Area of Jiangxi Province

LIU Hui¹, GONG Hailin²

(1. School of Software, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China;

2. College of Mathematics and Informatics, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: Considering that the traditional GM(1,1) model has lower prediction accuracy when the raw data sequence fluctuate severely, two improved grey model were proposed and then integrated with Markov predication model respectively. Two improved Grey-Markov models were established and applied to predict the agricultural disaster area in Jiangxi. The results show that the fitting precision of both improved grey model and Grey-Markov model are enhanced obviously, and it can be concluded that the methods of improved Grey-Markov model are effective.

Key words: Grey model; Markov; prediction; disaster area

(责任编辑: 曾剑锋)