

文章编号: 1004-4353(2018)03-0239-07

我国交通事故死亡人数的组合测度及关联性分析

孙浩, 杨桂元*

(安徽财经大学统计与应用数学学院, 安徽 蚌埠 233030)

摘要: 为了提高对交通事故的预测精度,在4种单项方法(多元线性回归、Brown指数平滑法、Holt指数平滑法、GM(1,n))的基础上,构建了基于Theil不等系数的IOWHA算子的最优组合预测模型.对我国1997—2016年的交通事故死亡人数进行预测的结果表明,本文提出的组合预测模型优于各单项方法,是一种优性组合预测模型.采用VAR模型分别对等级公路里程、国民总收入、机动车驾驶员人数与交通事故死亡人数间的关系进行脉冲响应研究表明,国民总收入对交通事故死亡人数具有抑制作用,而等级公路里程与机动车驾驶员人数的增加则会增加交通事故的死亡率.

关键词: 交通事故; Theil不等系数; IOWHA算子; VAR模型

中图分类号: F224.0

文献标识码: A

The combined measurement and correlation analysis of deaths in traffic accidents

SUN Hao, YANG Guiyuan*

(School of Statistics and Applied Maths, Anhui University of Finance and Economic, Bengbu 233030, China)

Abstract: In order to improve the prediction accuracy of traffic accidents, an optimal combination prediction model based on the IOWHA operator with unequal coefficients of Theil was constructed on the basis of four single methods (multiple linear regression, Brown index smoothing, Holt index smoothing, GM(1,n)). The prediction results of traffic accident deaths in China from 1997 to 2016 show that the combined prediction model proposed in this paper is superior to each single method and is a superior combined prediction model. The relationship between grade highway mileage, gross national income, the number of motor vehicle drivers and the number of traffic deaths was studied by using VAR model, the results show that the gross national income has inhibitory effect on deaths, and grade highway mileage and the increase of motor vehicle driver traffic can increase mortality.

Keywords: traffic accident; Theil coefficient; IOWHA operator; VAR model

0 引言

随着我国经济的快速发展,道路建设与车辆数量之间的不均衡问题日渐凸显,如何提高交通事故中死亡人数的预测精度具有重要意义.研究^[1-6]表明,采用单项方法在对交通事故和死亡人数进行预测时,其精度难以达到理想效果,因此一些学者提出了组合预测模型.例如:钱卫东等^[7]、林岩等^[8]、王星等^[9]均将灰色GM(1,1)模型与马尔可夫理论相结合,得到了较好的预测结果;李刚等^[10]采用灰色残差模型

对随机性较强的公路交通事故进行了预测,结果表明该方法的预测精度优于单项方法;马国忠等^[11]针对我国道路交通事故中的死亡人数,建立了灰色-周期外延组合模型进行预测,结果显示该组合模型可显著提高预测精度;赵玲等^[12]构建了一种用于道路交通事故次数预测的灰色加权马尔可夫 SCGM(1, 1) c 模型,并以某市 1975—2010 年道路交通事故次数为例进行了预测分析,结果显示该模型不仅能够预测交通事故次数变化的总体趋势,而且能克服随机波动性数据对预测精度的影响. 李奇等^[13]将灰色预测与 Verhulst 预测相结合,采用变异系数法来确定组合预测模型中各个单项模型的权重系数,通过数据检验表明该组合模型能够有效提高预测精度. 宋英华等^[14]将 UGM(1,1)与 Holt 平滑法相组合,采用熵值法来确定各单项方法的权重,并通过数据检验表明该模型的预测精度优于 UGM(1,1)模型和 Holt 指数平滑模型. 上述改进模型虽然提高了预测精度,但普遍求解较为复杂,且权重获取大多采用最优加权法. 基于以上研究,本文为了更充分利用各单项方法的有效信息,在多元线性回归模型、Brown 指数平滑法、Holt 指数平滑法以及 GM(1, n) 4 种单项方法基础上,建立一种基于 Theil 不等系数的 IOWHA 算子最优组合模型,并验证本文组合测度模型的有效性. 最后,采用 VAR 模型分别对等级公路里程、国民总收入、机动车驾驶员人数与交通事故死亡人数间的关系进行脉冲响应研究.

1 基于 Theil 不等系数的 IOWHA 算子最优组合模型

定义 1 设数据集 $(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_n, a_n \rangle)$ 是包含 n 个数据的二维数组, IOWHA 是 n 元函数, $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是与其中各元素相对应的加权向量, 且 \mathbf{W} 满足条件: $\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geqslant 0, i = 1, 2, \dots, n$. 令

$$\text{IOWHA}(\langle v_1, a_1 \rangle, \langle v_2, a_2 \rangle, \dots, \langle v_n, a_n \rangle) = 1 / \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{a_{v\text{-index}(i)}}, \tag{1}$$

式(1)中 v_1, v_2, \dots, v_n 为诱导变量, a_1, a_2, \dots, a_n 为原数据集中的元素, $v\text{-index}(i)$ 表示对 a_1, a_2, \dots, a_n 从高到低排序后第 i 个数据的下标.

假设某一现象的实际值为 $\{x_t, t = 1, 2, \dots, N\}$, x_{it} 为第 i 种单项方法在第 t 时刻的预测值, $i = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, N$.

定义 2 设 a_{it} 为第 i 种单项方法在 t 时刻处的预测精度, 令

$$a_{it} = \begin{cases} 1 - |(x_t - x_{it}) / x_t|, & \text{当 } |(x_t - x_{it}) / x_t| < 1; \\ 0, & \text{当 } |(x_t - x_{it}) / x_t| \geqslant 1. \end{cases} \tag{2}$$

令 \hat{x}_t 为第 t 时刻由 $a_{1t}, a_{2t}, \dots, a_{mt}$ 作为诱导值所生成的组合预测值, 其中 $t = 1, 2, \dots, N$. 根据定义 1, 有

$$\hat{x}_t = \text{IOWHA}(\langle a_1, x_{1t} \rangle, \langle a_2, x_{2t} \rangle, \dots, \langle a_m, x_{mt} \rangle) = 1 / \sum_{i=1}^m \frac{w_i}{x_{a\text{-index}(it)}}. \tag{3}$$

将 Theil 不等系数应用到 IOWHA 组合预测中, 则有:

$$\tau_i = \sqrt{\sum_{t=1}^N e_{it}^2 / \sum_{t=1}^N \left(\frac{1}{x_t}\right)^2}, \tau = \sqrt{\sum_{t=1}^N \left(\sum_{i=1}^m w_i e_{i\text{-index}(it)}\right)^2 / \sum_{t=1}^N \left(\frac{1}{x_t}\right)^2}, \tag{4}$$

其中 $e_{it} = \frac{1}{x_t} - \frac{1}{x_{it}}$, $\sum_{i=1}^m w_i e_{a\text{-index}(it)} = \frac{1}{x_t} - \frac{1}{x_t}$, τ_i 和 τ 分别为第 i 种单项预测方法预测值序列和基于 IGOWLA 算子组合预测值序列与实际值序列的 Theil 不等系数. 从而, 基于 Theil 不等系数的 IOWHA 组合测度模型可记为:

$$\min \tau(w_1, w_2, \dots, w_m) = \sqrt{\sum_{t=1}^N \left(\sum_{i=1}^m w_i e_{i\text{-index}(it)}\right)^2 / \sum_{t=1}^N \left(\frac{1}{x_t}\right)^2},$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^m w_i = 1, \\ w_i \geq 0, i = 1, 2, \cdots, m, \end{cases} \tag{5}$$

且当 $\tau(w_1, w_2, \cdots, w_m) < \tau_{\min} = \min\{\tau_i, i = 1, 2, \cdots, m\}$ 时,该模型是一种优性组合预测.

2 我国交通事故死亡人数预测

2.1 数据指标的选取

本文参照文献[15-17]从经济水平、交通基础设施、医疗卫生以及车辆状况 4 个维度建立指标体系,具体如表 1 所示.

2.2 基于 Theil 不等系数的 IOWHA 算子交通事故死亡人数的组合预测

分别采用多元回归模型、指数平滑法(Brown 与 Holt)、GM(1,n) 以及 Theil 不等系数的 IOWHA 算子模型对 1997—2013 年的我国交通事故死亡人数进行拟合分析,然后对 2014—2016 年的我国交通事故死亡人数进行预测,并将各模型所得到的预测结果与实际值进行比较.

首先采用逐步回归的方法建立多元回归模型.经检验,等外公路公路里程、旅客周转量、医疗卫生机构数以及民用汽车拥有量在逐步回归中并不显著,因此本文去除了这些变量,最终所得的多元回归结果见表 2. 由表 2 可知, $R^2 = 0.872\ 6$, $\bar{R}^2 = 0.843\ 2$, $F = 209.67$, $DW = 1.665$. 说明该模型具有较高的拟合度,且模型的残差有效地回避了异方差与正相关.各单项方法的预测结果见表 3.

表 1 交通事故死亡人数的影响因素

因素	变量	符号
交通基础设施	等级公路里程	X_1
	等外公路公路里程	X_2
经济水平	旅客周转量	X_3
	国民总收入	X_4
医疗卫生	医疗卫生机构数	X_5
车辆状况	民用汽车拥有量	X_6
	机动车驾驶员人数	X_7

注:文中各变量的数据均来自于历年的《中国统计年鉴》

表 2 解释变量多元回归结果

变量	回归系数	标准差	t 值	P 值
C	79 189.590	8 488.988	9.329	0.000
X_1	- 238.197	94.007	- 2.534	0.025
X_4	- 0.336	0.072	- 4.677	0.000
X_7	9.854	1.818	5.419	0.000

Brown 指数平滑法的计算公式为:

$$\begin{cases} S_t^{(1)} = ax_t + (1 - a)S_{t-1}^{(1)}, \\ S_t^{(2)} = aS_t^{(1)} + (1 - a)S_{t-1}^{(2)}, \end{cases} \tag{6}$$

其中 $S_t^{(1)}$ 和 $S_t^{(2)}$ 分别为第 t 时刻的一次指数平滑值和二次指数平滑值. 本文假设交通事故死亡人数 x_t ($t = 1, 2, \cdots, N$) 的变化为直线趋势,则第 $t + m$ 期的预测值 F_{t+m} 为

$$F_{t+m} = \alpha_t + \beta_t m. \tag{7}$$

从而可得 Brown 指数平滑法的参数 α_t 与 β_t 分别为:

$$\beta_t = \frac{a}{1 - a}(S_t^{(1)} - S_t^{(2)}), \tag{8}$$

$$\alpha_t = S_t^{(1)} + (S_t^{(1)} - S_t^{(2)}) = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}. \tag{9}$$

采用 EVIEWS 软件对 1997—2013 年我国交通事故死亡人数进行预测. 当 $a_t = 0.892$, $\beta_t = 0.118$ 时,模型的残差平方和为最小,从而得到基于 Brown 指数平滑法的交通事故死亡人数的预测结果(见表 3).

Holt 指数模型为:

$$\begin{cases} S_t = ax_t + (1 - a)(S_{t-1} + b_{t-1}), \\ b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}, \\ P_{t+m} = S_t + b_t m. \end{cases} \tag{10}$$

采用 EViews 对 1997—2013 年的我国交通事故死亡人数进行预测,当 $a=1.000$, $\gamma=0.810$ 时,模型的残差为 4 634.07,达到最小,从而得到基于 Holt 指数平滑法的交通事故死亡人数的预测结果(见表 3).

利用灰色预测模型 GM(1, n) (n 表示解释变量的个数) 首先对 n 个解释变量序列 $X_i^{(0)}=(x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \cdots, x_i^{(0)}(n))$ ($i=1, 2, \cdots, n$) 做累加运算, 由此得到的新解释变量序列为 $X_i^{(1)}=(x_i^{(0)}(1), \sum_{m=1}^2 x_i^{(0)}(m), \cdots, \sum_{m=1}^n x_i^{(0)}(m))$ ($i=1, 2, \cdots, n$). 再将 $X_i^{(1)}$ 中的时刻点 $k=1, 2, \cdots, n$ 看作是连续的时间变量 t , 从而数列 $X_i^{(1)}$ 可看成是与时间 t 相关的数列, 即 $X_i^{(1)}=X_i^{(1)}(t)$. 如果数列 $X_2^{(1)}, X_3^{(1)}, \cdots, X_n^{(1)}$ 对 $X_1^{(1)}$ 的变化率产生影响, 则可建立如下微分方程:

$$\frac{dX_1^{(1)}}{dt}+aX_1^{(1)}=b_2X_2^{(1)}+b_3X_3^{(1)}+\cdots+b_nX_n^{(1)},$$

(11)

且其近似解为

$$x_1^{(1)}(k+1)=\left(x_1^{(0)}(1)-\frac{1}{a}\sum_{i=2}^nb_iX_i^{(1)}(k+1)\right)\exp(-ak)+\frac{1}{a}\sum_{i=2}^nb_iX_i^{(1)}(k+1).$$

(12)

采用 MATLAB 编程对 1997—2013 年的我国交通事故死亡人数进行预测,可以得到 $a=0.554\ 7$, $b=(-254.14, -38.738, 0.657, -0.048\ 7, 0.071, -0.627, 2.867)$, 具体预测结果如表 3 所示.

表 3 各种单项方法下的预测值及其精度

年份	实际值	多元回归		Brown 指数平滑法		Holt 指数平滑法		GM(1, n)	
		预测值	精度	预测值	精度	预测值	精度	预测值	精度
1997	73 861	80 259.37	0.913 4	78 728.5	0.934 1	73 861.00	1.000 0	73 861	1.000 0
1998	78 067	84 136.74	0.922 2	74 107.4	0.949 3	76 970.63	0.986 0	18 339	0.234 9
1999	83 529	87 902.89	0.947 6	81 360.9	0.974 0	82 064.72	0.982 5	88 949	0.935 1
2000	93 853	89 996.93	0.958 9	88 568.9	0.943 7	88 712.83	0.945 2	114 950	0.775 2
2001	105 930	93 965.63	0.887 1	103 060.9	0.972 9	103 200.51	0.974 2	123 580	0.833 4
2002	109 381	98 021.36	0.896 1	117 448.9	0.926 2	117 488.47	0.925 9	125 940	0.848 6
2003	104 372	103 591.74	0.992 5	114 608.2	0.901 9	114 372.20	0.904 2	123 630	0.815 5
2004	107 077	104 820.23	0.978 9	101 479.9	0.947 7	101 262.76	0.945 7	98 388	0.918 9
2005	98 738	107 564.81	0.910 6	108 453.6	0.901 6	108 677.45	0.899 3	104 330	0.943 4
2006	89 455	91 281.50	0.979 6	92 562.9	0.965 3	92 287.22	0.968 3	108 900	0.782 6
2007	81 649	79 189.21	0.969 9	80 730.0	0.988 7	80 710.04	0.988 5	79 432	0.972 8
2008	73 484	75 816.85	0.968 3	73 608.2	0.998 3	73 664.62	0.997 5	70 639	0.961 3
2009	67 759	78 171.28	0.846 3	65 356.6	0.964 5	65 353.31	0.964 5	63 784	0.941 3
2010	65 225	60 042.22	0.920 5	61 513.6	0.943 1	61 576.99	0.944 1	62 625	0.960 1
2011	62 387	58 893.63	0.944 0	61 917.4	0.992 5	61 997.98	0.993 8	55 383	0.887 7
2012	59 997	60 888.54	0.985 1	59 490.8	0.991 6	59 475.10	0.991 3	60 672	0.988 7
2013	58 539	56 974.13	0.973 3	57 503.1	0.982 3	57 507.85	0.982 4	61 965	0.941 5

通过分析表 3 可知,在相同时刻点处不同的方法所得到的精度不同,这表明各单项方法间存在着一定的互补性. 将表 3 中的数据按照预测精度从大到小进行排序后将相应的数据代入式(3)中,从而得出每个时间点处的基于 IOWHA 算子的组合预测值. 将所得到的结果代入式(5)即可得到基于 Theil 不等系数的 IOWHA 算子组合预测值模型. 运用 LINGO 软件计算组合模型的最优权系数,得 $w_1=0.956\ 4$, $w_2=0$, $w_3=0.043\ 6$, $w_4=0$. 将 w_1-w_1 和表 3 中的数据代入式(3),即可得出 1997—2013 年各时间点处的预测结果(见表 4).

2.3 模型的精度检验及预测结果分析

为了探究模型的合理性, 本文从平方和误差($SSE=\sum_{i=1}^N(x_i-\hat{x}_i)^2$)、平均绝对误差($MAE=$

$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |x_t - \hat{x}_t|$), 均方误差 ($MSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{t=1}^N (x_t - \hat{x}_t)^2}$), 平均绝对百分比误差 ($MAPE = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^N \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|$), 均方百分比误差 ($MSPE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{t=1}^N \left(\frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right)^2}$) 5 个角度对各预测方法得到的结果进行分析, 结果如见表 5。

表 4 基于 Theil 不等系数的 IOWHA 算子组合测度预测值及其精度

年份	实际值	组合预测值	预测精度	年份	实际值	组合预测值	预测精度
1997	73 861	74 061	0.997 3	2006	89 455	91 337	0.979 0
1998	78 067	77 258	0.989 6	2007	81 649	80 673	0.988 0
1999	83 529	82 303	0.985 3	2008	73 484	73 474	0.999 9
2000	93 853	89 934	0.958 2	2009	67 759	65 286	0.963 5
2001	105 930	102 760	0.970 1	2010	65 225	62 576	0.959 4
2002	109 381	116 443	0.935 4	2011	62 387	61 856	0.991 5
2003	104 372	104 028	0.996 7	2012	59 997	59 541	0.992 4
2004	107 077	104 660	0.977 4	2013	58 539	57 484	0.982 0
2005	98 738	104 503	0.941 6				

表 5 各预测方法的误差

误差	预测方法 1	预测方法 2	预测方法 3	预测方法 4	组合预测
SSE	145 930 000	359 600 000	680 100 000	5 800 200 000	135 900 000
MSE	2 096.6	3 453	5 369.1	12 700	2 055.5
MAE	710.59	1 115.5	1 534	4 479.9	685.75
MAPE	0.023 432	0.037 712	0.060 591	0.148 46	0.023 095
MSPE	0.000 930 44	0.002 256	0.004 481 8	0.049 67	0.000 887 6

由表 5 可以看出, 本文所建立模型的 SSE、MSE、MAE、MAPE 和 MSPE 值均是最小的, 说明本文所建立的组合测度模型的准确度优于各单项预测方法. 使用式(4) 计算各模型的 Theil 值, 分别得: $\tau_1 = 0.395\ 2$, $\tau_2 = 0.254\ 2$, $\tau_3 = 0.222\ 9$, $\tau_4 = 4.591\ 4$, $\tau = 0.153\ 2$. $\tau < (\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4)$, 说明本文建立的组合测度模型是优性的.

采用上述 5 种预测方法对 2014—2016 年的我国交通事故死亡人数进行预测. 由于本文是在假设不知道 2014—2016 年的交通事故死亡人数实际值的情况下进行预测的, 因此利用本文所建立的组合预测模型无法根据精度来诱导计算最优权系数. 为此, 本文将 2009—2013 年各单项预测方法的权系数平均值作为组合模型最优权系数的有效估计. 各预测方法的预测值见表 6. 由表 6 可知, 本文所建立的组合预测模型的预测精度在 2014—2016 年均是最高的, 说明由本文建立模型所得到的结果更加接近真实情况.

表 6 2014—2016 年各预测模型的预测结果

年份	实际值	预测值					预测精度				
		多元回归	Brown 指数平滑法	Holt 指数平滑法	GM(1,n)	组合预测	多元回归	Brown 指数平滑法	Holt 指数平滑法	GM(1,n)	组合预测
2014	58 523	64 183	56 885	62 495	55 851	57 168	0.903 3	0.972 0	0.932 1	0.954 3	0.976 9
2015	58 022	75 895	55 231	64 557	81 081	55 311	0.692 0	0.951 9	0.887 4	0.602 6	0.953 3
2016	63 093	83 206	53 577	66 619	97 040	66 439	0.681 2	0.849 2	0.944 1	0.462 0	0.947 0

3 脉冲响应分析

为了分析等级公路里程(X_1)、国民总收入(X_4)、机动车驾驶员人数(X_7) 与交通事故死亡人数(Y)

间的关系,分别对 X_1 、 X_4 、 X_7 以及 Y 作差分处理,得到 DX_1 、 DX_4 、 DX_7 以及 DY (均为平稳序列),然后采用 VAR 模型对 X_1 、 X_4 、 X_7 与 Y 间的冲击状况进行探究. 根据 AIC 与 SC 最小原则,确定最佳滞后阶数为 1,从而有:

$$\begin{pmatrix} DY_t \\ DX_{1t} \\ DX_{4t} \\ LX_{7t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -5.220 \\ 0.841 \\ 4\,801.33 \\ 121.218 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0.129 & 28.395 & -0.067\,1 & 0.620 \\ -0.002\,1 & -0.526 & -0.000\,3 & -0.000\,4 \\ -0.404 & 168.57 & -0.206 & -12.877 \\ -0.005\,1 & -6.115 & 0.034\,1 & -0.471 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} LY_{t-1} \\ LX_{1\,t-1} \\ LX_{4\,t-1} \\ LX_{7\,t-1} \end{pmatrix}.$$

(13)

采用脉冲响应函数对等级公路里程、国民总收入、机动车驾驶员人数与交通事故死亡人数间的关系作进一步研究,结果如图 1 和图 2 所示. 图中横轴为滞后期(分为 10 期),纵轴为变量对一个标准差冲击的响应程度. 从图 1 可以看出,对交通事故死亡人数施加一个正向冲击时,等级公路里程与机动车驾驶员人数在初期急剧增加,并均在第 2—3 期内达到峰值,而国民总收入则在初期迅速降低至峰谷. 这说明社会经济的的增长能够降低交通事故的发生率,而交通事故的死亡人数则随公路里程与机动车驾驶人员人数的增加而增加,但在第 5 期后,这种增加趋势逐渐减弱. 从图 2 可以看出,对等级公路里程、国民总收入、机动车驾驶员人数施加一个正向冲击时,其事故死亡人数的响应值在初期都迅速降低;在第 5 期后,等级公路里程、国民总收入和机动车驾驶员人数对交通事故死亡率的作用效果虽然均在不断减弱,但在整体上等级公路里程与机动车驾驶员人数仍对交通事故死亡人数表现为促进作用,而国民总收入则表现为抑制作用.

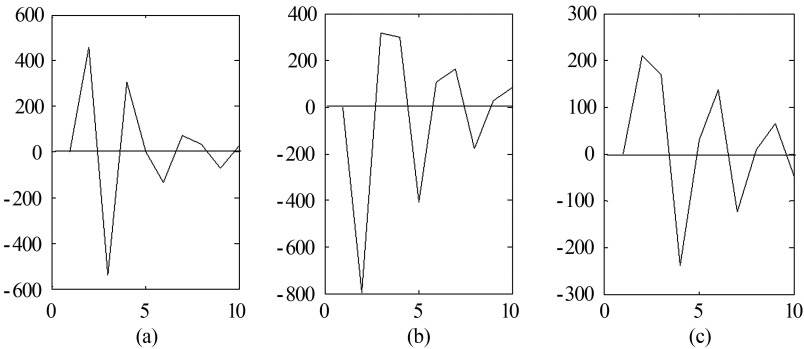


图 1 等级公路里程(a)、国民总收入(b)以及机动车驾驶员人数(c)对交通事故死亡人数的脉冲响应结果

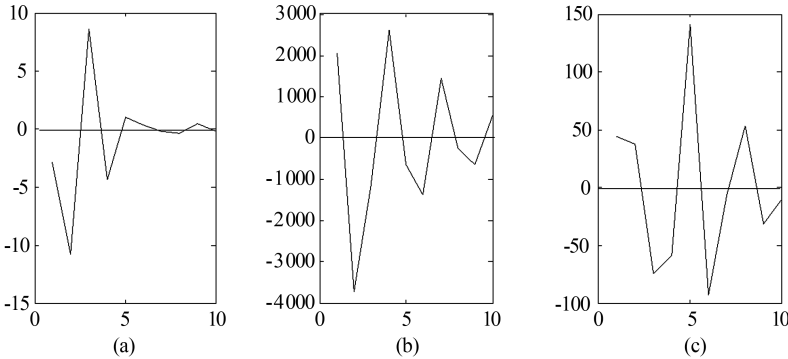


图 2 交通事故死亡人数对等级公路里程(a)、国民总收入(b)以及机动车驾驶员人数(c)的脉冲响应结果

4 结论

本文在 4 种单项方法(多元回归模型、Brown 指数平滑法、Holt 指数平滑法、GM(1,n))的基础上,建立了基于 Theil 不等系数的 IOWHA 算子组合预测模型,并采用上述 5 种模型对我国 1997—2016 年

的交通事故死亡人数进行了预测。采用 VAR 模型对等级公路里程、国民总收入、机动车驾驶员人数与交通事故死亡人数间的关系分别进行了脉冲响应探究。研究表明:①本文所建立的组合模型优于 4 种单项方法,可有效提高交通事故死亡人数的预测精度;②等级公路里程和机动车驾驶员人数的增长,会导致交通事故死亡人数增加,但随着时间的增加,事故死亡人数呈下降趋势;③经济发展水平对交通事故死亡率具有抑制作用。本文在研究中没有考虑一些定性因素(天气、法律因素等)对本文方法的影响,因此今后将研究这些因素对本文方法的影响,以得到更好的预测结果。

参考文献:

- [1] 林震,杨浩.基于车速的交通事故贝叶斯预测[J].中国安全科学学报,2003(2):40-42.
- [2] 徐国星,李显生,林庆峰,等.交通事故预测的灰色 GM(1,1)模型[J].山东理工大学学报(自然科学版),2005,19(6):45-49.
- [3] 董四辉,史卓岫.道路交通事故 BP 神经网络预测研究[J].中国安全科学学报,2010,20(9):15-20.
- [4] 陈敏,于静涛,陆建.道路交通事故多元回归预测模型研究[J].公路交通科技(应用技术版),2012,8(1):175-179.
- [5] 赵万香.基于马尔科夫预测法的车道偏离预警系统研究[D].西安:长安大学,2014.
- [6] 王文博,陈红,韦凌翔.交通事故时间序列预测模型研究[J].中国安全科学学报,2016,26(6):52-56.
- [7] 钱卫东,刘志强.基于灰色马尔可夫的道路交通事故预测[J].中国安全科学学报,2008,18(3):33-36.
- [8] 林岩,陈帅,陈燕,等.道路交通事故的灰色马尔科夫预测模型与算法[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2013,37(5):924-928.
- [9] 王星,刘小勇.基于灰色马尔科夫模型的交通事故预测研究[J].交通科技与经济,2017,19(4):9-13.
- [10] 李刚,黄同愿,闫河,等.公路交通事故预测的灰色残差模型[J].交通运输工程学报,2009,9(5):88-83.
- [11] 马国忠,张翠.道路交通事故死亡人数的灰色-周期外延组合模型[J].交通运输工程与信息学报,2010,8(4):4-8.
- [12] 赵玲,许宏科.基于灰色加权马尔可夫 SCGM(1,1)c 的交通事故预测[J].计算机工程与应用,2012,48(31):11-15.
- [13] 李奇,侯方正.基于变异系数法的道路交通事故灰色组合预测模型研究[J].安全与环境工程,2017,24(6):130-133.
- [14] 宋英华,程灵希,刘丹,等.基于组合预测优化模型的交通事故预测研究[J].中国安全科学学报,2017,27(5):31-35.
- [15] 仪振刚.道路交通事故的成因及其对策[J].科技情报开发与经济,2004(11):308-309.
- [16] 李金龙,孙晚华.高速公路交通事故成因分析及对策研究[J].中国安全科学学报,2005(1):62-65.
- [17] 翟一.我国交通与经济增长关系研究[D].武汉:武汉大学,2013.