

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2017.09.010

基于 TOPSIS 理论的因子分析模型 在服务业发展中的应用研究^①

罗国旺¹, 刘衍民², 蒲浩²

1. 北京工业大学 应用数理学院, 北京 100124;
2. 遵义师范学院 数学与计算科学学院, 贵州 遵义 563002

摘要: 针对已有文献面板数据因子分析模型在实际应用中存在的不足, 将每一年综合得分最高和最低的截面数据因子分别作为最优和最劣向量, 通过 TOPSIS 理论求出每个研究对象的最优因子方案接近度. 以中国的服务业发展为例, 用模型的最优因子方案接近度来描述各个地区服务业发展状况, 研究发现多数省份服务业发展与最优因子方案接近度相差较大.

关键词: 面板数据; 因子分析; TOPSIS; 中国服务业

中图分类号: F224.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5471(2017)09-0053-07

对于广义动态因子分析模型^[1-10]:

$$x_{it} = b_{i1}(L)u_{1t} + b_{i2}(L)u_{2t} + \cdots + b_{iq}(L)u_{qt} + \xi_{it}$$

其中: $i \in \mathbb{N}$, $t \in T$, T 是时间集合, L 是滞后算子, $u_j (j = 1, 2, \cdots, q)$ 是模型的“公共因子”; $\chi_{it} = \sum_{j=1}^q b_{ij}(L)u_{jt}$, $u_{jt} = x_{it} - \xi_{it}$ 是 x_{it} 的“公共成分部分”; ξ_{it} 是 x_{it} 的“随机成分部分”; $b_{ij}(L)$ 是关于 L 的单边滤子, 它的系数是平方可加的. 除此之外, 该模型必须同时满足 4 个条件:

- (i) $\{(u_{1t}, u_{2t}, \cdots, u_{qt})', t \in T\}$ 是正交的白噪声过程, 且 $\forall n$ 和 $\xi = \{\xi_{it}, i \in \mathbb{N}, t \in T\}$ 都有 $\xi_n = \{(\xi_{1t}, \xi_{1t}, \cdots, \xi_{nt})', t \in T\}$ 是零均值的平稳向量过程; 满足 $\forall i, j, t, k$, 有 $\xi_{it} \perp u_{i, t-k}$.
- (ii) 随机成分 ξ_{it} 的谱密度矩阵 Σ_n^ξ 的第一个特征值 λ_{n1}^ξ 满足对 $\forall \theta \in [-\pi, \pi]$, $\forall n \in \mathbb{N}$, $\exists \Delta \in \mathbb{R}$, 使 $\lambda_{n1}^\xi \in \Delta$.
- (iii) x_{nt} 的谱密度矩阵是 Σ_n , 该矩阵元素为 $\sigma_{ji}(\theta)$, 对 $\forall \theta \in [-\pi, \pi]$, $\forall n \in \mathbb{N}$, $\exists \Delta \in \mathbb{R}$ 都存在 $c_i > 0$, 使 $\sigma_{ij} \leq c_i$.
- (iv) 公共成分 χ_{it} 的谱密度矩阵 Σ_n^χ 前 q 个特征值满足 $\forall j \leq q$, 若 $\forall \theta \in [-\pi, \pi]$, 时, $\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_{nj}^\chi(\theta) = \infty$.

用广义动态因子分析模型对面板数据进行因子分析时, 改进了传统因子分析模型在面板数据因子分析上存在的不足, 但在实际应用中广义动态因子分析模型的 4 个条件很难同时满足.

根据董锋等人^[11]的面板数据因子分析模型:

(i) 第 i 个地区第 t 年的因子综合得分函数为:

$$W_i = \left(\sum_{m=1}^M \phi_m(t) F_{mi}(t) \right) \left(\sum_{m=1}^M \phi_m(t) \right)^{-1}$$

① 收稿日期: 2016-06-22
基金项目: 国家自然科学基金项目(71461027); 贵州省自然科学基金项目(黔教合 KY[2014]295); 贵州省科技合作计划课题(黔科合 LH 字[2015]7055 号); 贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金(黔科合人字[2015]06 号).
作者简介: 罗国旺(1986-), 男, 贵州兴义人, 博士研究生, 主要从事非参数统计与数据分析方向研究.

其中: $\phi_m(t)$ 为第 m 个因子对第 t 年因子分析的方差贡献率, $F_{mi}(t)$ 为第 i 个地区第 m 个公共因子得分.

(ii) 在区间 $[t_0, T]$ 年里, 第 i 个地区的第 m 个公共因子总得分函数为

$$\sigma_i = \left(\sum_{t=t_0}^T \phi_m(t) F_{mi}(t) \right) \left(\sum_{t=t_0}^T \phi_m(t) \right)^{-1}$$

(iii) 在区间 $[t_0, T]$ 年里, 第 i 地区在该区间里的因子综合总得分函数为

$$\bar{\omega}_i = \left(\sum_{t=t_0}^T \delta(t) W_{mi}(t) \right) \left(\sum_{t=t_0}^T \delta(t) \right)^{-1}$$

其中 $\delta(t)$ 为第 t 年因子分析的总方差累计贡献率.

用文献[11]模型计算第 i 地区的第 m 个公共因子在区间 $[t_0, T]$ 年里的因子总得分时, 是利用第 m 个公共因子在每年的方差贡献率作为权重, 然后进行加权求和得到的. 同样在计算 $[t_0, T]$ 年面板数据第 i 地区的因子综合得分时, 是用每年的横截面因子分析的累计方差贡献率作为权重, 分别和与之相对应的各年的因子综合得分进行加权求和得到的, 然而不同年份的指标截面数据口径是不同的, 不具有可加性, 所以用每年的因子累计方差贡献率进行简单加权求和来赋权会加大研究的误差.

本文在文献[12]建立的模型应用基础上做进一步推广, 不同的是, 本文建立的模型更完整, 理论性更充分, 通过用图形直观刻画最优方案距离和最劣方案距离, 相对广义动态因子分析来说, 该模型避免了广义动态因子分析模型的变量系统必须同时满足的 4 个条件. 同时, 本文的研究并不是根据每年因子累计方差贡献率进行加权求和, 这样可以避免每年的数据口径不一致带来的误差.

1 基于 TOPSIS 理论的因子分析模型

1.1 TOPSIS 理论

TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution)^[13-17] 具体步骤如下:

step1 设有 n 个评价对象、 m 个评价指标, 原始数据可写为矩阵 $\mathbf{X} = (X_{ij})_{n \times m}$.

step2 对极大、极小指标分别进行一致化、归一化变换, 即极大值:

$$\alpha_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}}$$

极小值:

$$\beta_{ij} = \frac{(X_{ij})^{-1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij}^2)^{-1}}}$$

step3 归一化得到矩阵 $\mathbf{Z} = (Z_{ij})_{n \times m}$, 其各列最大、最小值构成的最优、最劣向量分别为

$$\mathbf{Z}^+ = (Z_{\max, 1}, Z_{\max, 2}, \dots, Z_{\max, m}) \quad \mathbf{Z}^- = (Z_{\min, 1}, Z_{\min, 2}, \dots, Z_{\min, m})$$

step4 第 i 个评价对象与最优、最劣方案的距离分别为

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{\max, j} - Z_{ij})^2} \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (X_{\min, j} - Z_{ij})^2}$$

step5 第 i 个评价对象与最优方案的接近程度 C_i 为

$$C_i = D_i^- / \theta$$

其中 $\theta = \frac{1}{(D_i^- + D_i^+)}$.

1.2 传统的因子分析模型

因子分析^[18]模型: 设有 n 个研究对象, 且每个研究对象有相同的 m 个指标值, 现把原指标数据写成数据矩阵 $\mathbf{V} = (V_1, V_2, \dots, V_1)$; 对数据进行因子分析, 求得各公共因子的得分函数 $f_i (i = 1, 2, \dots, p)$, 以及所对应的方差贡献率, 且贡献率满足 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_p \geq 0$; 进而计算每个研究对象的 p 个公共因子得分, 即因子综合得分:

$$y = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} f_1 + \frac{\lambda_2}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} f_2 + \cdots + \frac{\lambda_p}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} f_p$$

1.3 TOPSIS 理论的因子分析模型

以服务业发展为例, 建立基于 TOPSIS 理论的因子分析模型, 模型的过程如下:

step1 建立模型的变量体系, 令研究对象集为 $S_{\bar{u}} (i = 1, 2, \cdots, n)$, 服务业发展的指标变量集为 $V_{ij} (j = 1, 2, \cdots, m)$, $t \in (t_1, t_2)$, n 为研究对象的总数, 若研究区间为 l 年, 那么有 $t_2 - t_1 + 1 = l$;

step2 对 $S_{\bar{u}}$ 进行横截面数据的因子分析, 得到研究象集 $S_{\bar{u}}$ 的 $f_{t, k, i}$ 个因子, $k \leq m$, 以及每个研究对象的因子综合得分值 $y_{t1}, y_{t2}, \cdots, y_{tm}$, 其中 t 表示时间截点, 即得到 $(Y)_{n \times l}$ 的矩阵以及

$$f_{t, k, i} = a_{t, 1, i} v_{t, 1, i} + a_{t, 2, i} v_{t, 2, i} + \cdots + a_{t, n, i} v_{t, n, i} \quad (1)$$

$$y_{t, i} = \frac{\lambda_1 f_{t, 1, i} + \lambda_2 f_{t, 2, i} + \cdots + \lambda_p f_{t, p, i}}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \quad i = 1, 2, \cdots, n \quad (2)$$

其中 p 为第 t 年横截面数据因子分析的公共因子个数,

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{21} & \cdots & y_{l1} \\ y_{12} & y_{22} & \cdots & y_{l2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{1n} & y_{2n} & \cdots & y_{ln} \end{pmatrix} \quad (3)$$

step3 以 Topsis 法对研究象集 $S_{\bar{u}} (i = 1, 2, \cdots, n; t = 1, 2, \cdots, l)$ 的因子综合得分 $y_{\bar{u}}$ 进行最终的评价, 具体步骤如下:

a) 把每一年的截面数据因子分析得分作为地区经济发展状况的一个评价指标数据, 这样便形成了一个指标体系, 即有 l 个指标, n 个评价对象, 构造出 nl 个元素的数据矩阵 $(y_{\bar{u}})_{n \times l}$.

b) 因为因子综合得分 $y_{\bar{u}}$ 为极大型指标, 所以, 对 l 个指标进行极大型指标的一致化处理

$$Z_{\bar{u}} = \frac{y_{\bar{u}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{\bar{u}}^2}} \quad (4)$$

对 l 个指标进行一致化处理方法后得到的数据为

$$(Z_{\bar{u}})_{n \times l} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{21} & \cdots & Z_{l1} \\ Z_{12} & Z_{22} & \cdots & Z_{l2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Z_{1n} & Z_{2n} & \cdots & Z_{ln} \end{pmatrix} \quad (5)$$

c) 找出矩阵 $(Z_{\bar{u}})_{n \times l}$ 中各列的最大值 $Z_{\max(i)}$ 、最小值 $Z_{\min(i)}$ 构成最优、最劣向量^[12], 对于 $i = 1, 2, \cdots, n$; $j = 1, 2, \cdots, l$ 有最优向量:

$$Z^+ = (Z_{\max(1)}, Z_{\max(2)}, \cdots, Z_{\max(l)})$$

最劣向量:

$$Z^- = (Z_{\min(1)}, Z_{\min(2)}, \cdots, Z_{\min(l)})$$

其中: $Z_{\max(j)} = \max(Z_{j1}, Z_{j2}, \cdots, Z_{jn})$, $Z_{\min(j)} = \min(Z_{j1}, Z_{j2}, \cdots, Z_{jn})$

d) 第 i 个评价对象与最优、最劣方案的距离分别为

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^l (X_{\max, j} - Z_{ji})^2} \quad D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^l (X_{\min, j} - Z_{ji})^2} \quad (6)$$

e) 第 i 个评价对象与最优因子方案的接近度 C_i 为

$$C_i = D_i^- \theta, \theta = (D_i^- + D_i^+)^{-1} \quad (7)$$

如果 C_i 越大, 说明第 i 地区在 $[t_1, t_2]$ 年里服务业发展状况越好, 反之则越差.

2 模型的实际应用

以中国加入 WTO 以来的服务业发展为例^[19-20] (数据来源于统计局网页 <http://www.stats.gov>).

cn/tjsj/), 用基于 Topsis 理论的因子分析模型研究中国 2005—2015 年的服务业发展情况.

2.1 模型符号变量的说明

根据服务业划分的 14 个细分行业, 本文模型的指标变量系统体系为: $v_{t, 1, i}$ 交通运输、仓储和邮政业; $v_{t, 2, i}$ 信息传输、计算机服务和软件业; $v_{t, 3, i}$ 批发和零售业; $v_{t, 4, i}$ 住宿餐饮业; $v_{t, 5, i}$ 金融业; $v_{t, 6, i}$ 房地产业; $v_{t, 7, i}$ 租赁和商务服务业; $v_{t, 8, i}$ 科学研究、技术服务和地质勘查业; $v_{t, 9, i}$ 水利、环境和公共设施管理业; $v_{t, 10, i}$ 居民服务和其他服务业; $v_{t, 11, i}$ 教育; $v_{t, 12, i}$ 卫生、社会保障和社会福利业; $v_{t, 13, i}$ 文化、体育和娱乐业; $v_{t, 14, i}$ 公共管理和社会组织.

由于中国部分省(自治区)的指标变量数据存在缺失, 只选取以下 25 个省(自治区)作为研究对象: S_1 河北省; S_2 山西省; S_3 内蒙古; S_4 辽宁省; S_5 吉林省; S_6 黑龙江; S_7 江苏省; S_8 浙江省; S_9 安徽省; S_{10} 福建省; S_{11} 江西省; S_{12} 山东省; S_{13} 河南省; S_{14} 湖北省; S_{15} 湖南省; S_{16} 广东省; S_{17} 广西; S_{18} 海南省; S_{19} 四川省; S_{20} 贵州省; S_{21} 云南省; S_{22} 陕西省; S_{23} 甘肃省; S_{24} 青海省; S_{25} 宁夏.

2.2 基于 TOPSIS 的因子分析

2.2.1 截面数据因子分析综合得分

根据第 1 节建立的基于 TOPSIS 理论的因子分析模型, 由统计软件 SPSS 软件分析得出 2005—2015 年服务业因子综合得分函数 y_{ti} , 即 2015 年因子综合得分函数为:

$$y_{2015, i} = \frac{28.03f_{2015, 1, i} + 21.607f_{2015, 2, i} + 18.125f_{2015, 3, i} + 15.708f_{2015, 4, i}}{83.47} \quad i = 1, 2, \dots, 25 \quad (8)$$

2014 年因子综合得分函数为:

$$y_{2014, i} = \frac{28.19f_{2014, 1, i} + 21.326f_{2014, 2, i} + 19.704f_{2014, 3, i} + 15.306f_{2014, 4, i}}{82.726} \quad i = 1, 2, \dots, 25 \quad (9)$$

2005 年因子综合得分函数为

$$y_{2005, i} = \frac{33.876f_{2005, 1, i} + 25.318f_{2005, 2, i} + 12.106f_{2005, 3, i} + 10.137f_{2005, 4, i}}{81.437} \quad i = 1, 2, \dots, 25 \quad (10)$$

(8) — (10) 式中, 各因子得分的线性函数 $f_{t, k, i}$ 的系数如表 1 所示.

表 1 基于横截面数据因子分析的因子载荷量

变量	$f_{2015, 1, i}$	$f_{2015, 2, i}$	$f_{2015, 3, i}$	$f_{2015, 4, i}$	$f_{2014, 1, i}$	$f_{2014, 2, i}$	$f_{2014, 3, i}$	$f_{2014, 4, i}$
$v_{t, 1, i}$	0.397	0.349	0.701	0.395	0.403	0.353	0.689	0.409
$v_{t, 2, i}$	0.825	0.517	0.473	−0.037	0.817	0.499	0.449	−0.053
$v_{t, 3, i}$	0.463	0.491	0.253	0.263	0.479	0.512	0.271	0.269
$v_{t, 4, i}$	0.271	0.801	0.287	0.304	0.279	0.804	0.259	0.328
$v_{t, 5, i}$	−0.083	0.116	0.361	0.819	−0.078	0.137	0.399	0.813
$v_{t, 6, i}$	0.317	0.807	0.429	0.443	0.321	0.806	0.507	0.439
$v_{t, 7, i}$	0.802	0.304	0.567	−0.076	0.801	0.332	0.563	−0.059
$v_{t, 8, i}$	0.183	−0.069	0.815	0.357	0.203	−0.067	0.802	0.372
$v_{t, 9, i}$	0.402	0.276	0.738	0.087	0.409	0.281	0.729	0.093
$v_{t, 10, i}$	0.781	−0.083	−0.081	0.009	0.762	−0.079	−0.079	0.016
$v_{t, 11, i}$	0.143	0.781	0.437	0.281	0.179	0.771	0.468	0.277
$v_{t, 12, i}$	−0.116	0.639	0.561	0.673	−0.102	0.661	0.573	0.693
$v_{t, 13, i}$	−0.109	0.259	−0.037	0.812	−0.108	0.233	−0.031	0.809
$v_{t, 14, i}$	0.327	−0.121	0.619	0.178	0.391	−0.093	0.592	0.193

根据 2005—2015 年的因子综合得分线性函数, 即式(10) — (12), 可计算出 25 个地区的 2005—2015 年因子综合得分值 y_{ti} ($t = 2005, 2006, \dots, 2015$), 这样便得到一个因子综合得分值矩阵 $(Y)_{n \times T}$ ($n = 25, T = 11$).

2.2.2 结 论

通过本文建立的 TOPSIS 理论的因子分析模型, 并借助数学软件 matlab, 计算结果见表 2, 次数分布图见图 1—3.

由于本文研究的对象数据不能满足 Forni 等人模型的假设 1, 故无法使用 Forni 等人模型进行研究. 通

过本文建立的模型和董锋等人模型对我国服务业发展进行研究,发现结论有一定的差异(见表 2)。

从表 2 数据发现,25 个省(自治区)的“ D^+ ”即最优方案距离的最大值为 2.414 8,最小值为 0,均值为 2.153 5,方差为 0.364 0;“ D^- ”即最劣方案距离的最大值为 2.416 2,最小值为 0.000 6,均值为 0.268 7,方差为 0.373 3;“ C_i ”即最优方案接近度的最大值为 1,最小值为 0.000 2,均值为 0.110 2,方差为 0.062 9。除了沿海地区广东省、江苏省、浙江省外,大部分省份与最优因子方案接近程度较大,这说明 25 个省(自治区)的服务业发展程度差异性较大,其中:青海省的最优方案距离最大,值为 2.414 8,广东省最优方案距离最小,值为 0;广东省的最劣方案距离最大,值为 2.416 2,青海省最劣方案距离最小,值为 0.000 6;广东省最优方案接近度最大,值为 1,青海省的最优方案距离最小,值为 0.000 2。

表 2 25 个省(自治区)2005—2015 年服务业发展分析

地区	与最优 方案距离	与最劣 方案距离	最优方案 接近度	排 名	
				本文模型	文献[11] 模型
S_1	2.3415	0.0756	0.0313	6	7
S_2	2.401 1	0.014 5	0.006 0	18	18
S_3	2.406 6	0.009 7	0.004 0	20	19
S_4	2.211 7	0.204 4	0.084 6	5	6
S_5	2.379 9	0.036 4	0.015 1	14	13
S_6	2.406 5	0.010 5	0.004 3	19	20
S_7	0.801 8	1.620 4	0.669 0	2	2
S_8	1.087 0	1.430 1	0.568 2	3	3
S_9	2.378 1	0.037 9	0.015 7	13	12
S_{10}	2.347 4	0.074 4	0.030 7	7	5
S_{11}	2.375 2	0.043 6	0.018 0	12	11
S_{12}	1.991 0	0.427 6	0.176 8	4	4
S_{13}	2.374 5	0.057 7	0.023 7	9	10
S_{14}	2.370 8	0.046 1	0.019 1	11	9
S_{15}	2.359 7	0.056 4	0.023 3	10	16
S_{16}	0.000 0	2.416 2	1.000 0	1	1
S_{17}	2.390 3	0.026 3	0.010 9	16	14
S_{18}	2.393 5	0.026 6	0.011 0	15	15
S_{19}	2.357 0	0.068 1	0.028 1	8	8
S_{20}	2.412 1	0.005 0	0.002 1	22	22
S_{21}	2.410 2	0.006 6	0.002 7	21	21
S_{22}	2.398 8	0.018 2	0.007 5	17	17
S_{23}	2.413 6	0.002 7	0.001 1	23	24
S_{24}	2.414 8	0.000 6	0.000 2	25	25
S_{25}	2.413 7	0.001 8	0.000 7	24	23

从次数分布图(图 1—3)来看,大部分地区的服务业发展与最优方案距离较大,接近最大值的边缘 2.5;与最劣方案距离较近,接近最小值的边缘 0;多数地区的最优方案接近度处于比较低的状态,不超过 0.2,这说明中国 25 个省(自治区)的服务业发展中,大部分地区处于相对落后的状态。

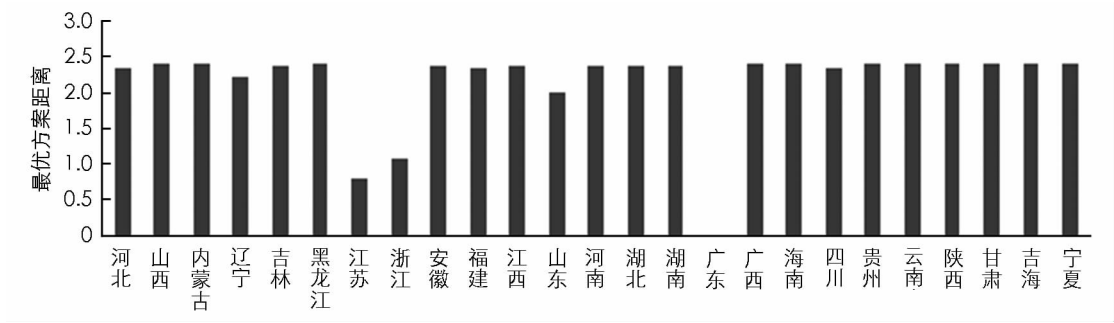


图 1 最优方案距离分布

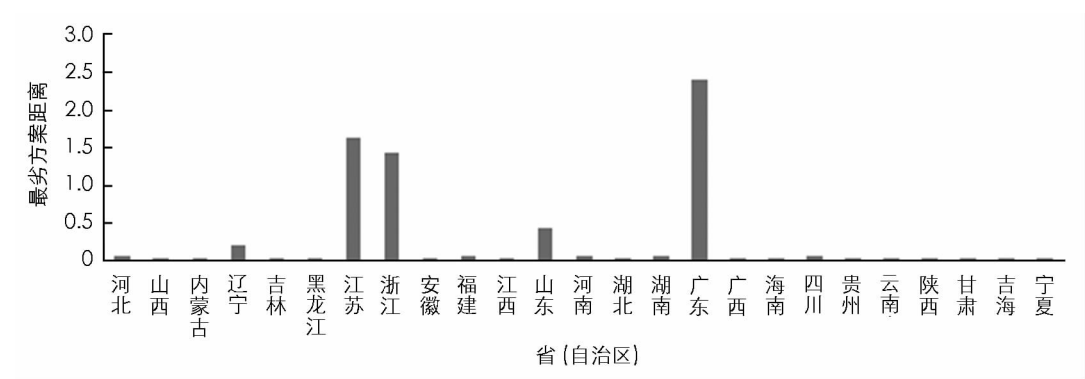


图 2 最劣方案距离分布

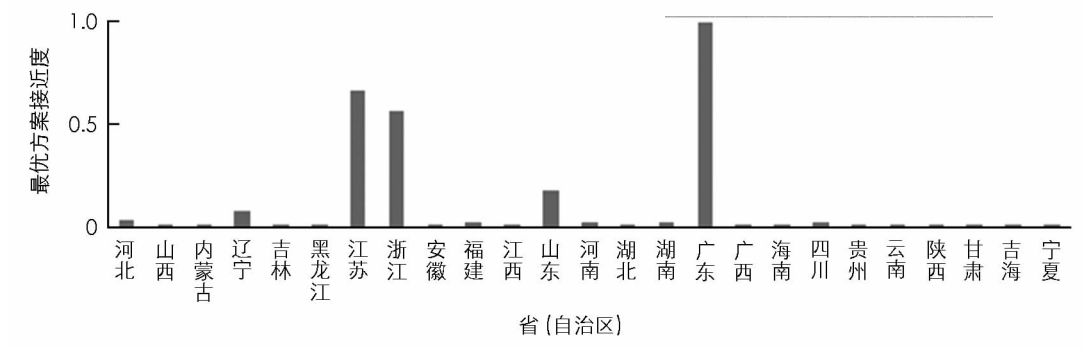


图 3 最优方案接近度分布

3 模型展望

模型通过 TOPSIS 法计算每个样本与最劣和最优向量的距离，进而计算样本与最优方案的接近度，作为最终的评价结果。在数据的处理上，该模型不用对样本的时间序列数据进行指数平减折算，克服了 Dynamic Factor Model 需要同时满足的 4 种前提条件，同时又弥补了文献[11]在面板数据因子分析中存在的不足。该模型同样可以应用到生物、医学等领域的相关研究中。

参考文献：

[1] FORNI M, LIPPI M. The General Dynamic Factor Model: One-sided Representation Results [J]. Journal of Econometrics, 2011, 163(1): 23—28.

[2] FORNI M, HALLIN M, LIPPI M, et al. Dynamic Factor Models with Infinite-dimensional Factor Spaces: One-Sided Representations [J]. Journal of Econometrics, 2015, 185(2): 359—371.

[3] LOPES H F, GAMRMAN D, SALAZAR E. Generalized Spatial Dynamic Factor Models [J]. Computational Statistics and Data Analysis, 2011, 55(3): 1319—1330.

[4] UMBERTO T, FULVIA F. Estimating Overnight Volatility of Asset Returns by Using the Generalized Dynamic Factor Model Approach [J]. Decisions Econ Finan, 2014, 37(2): 235—254.

[5] CREAL D, SCHWAAB B, KOOPMAN S J, et al. Observation Driven Mixed-Measurement Dynamic Factor Models With an Application to Credit Risk [J]. The Review of Economics and Statistics, 2014, 96(5): 898—915.

[6] JUNGBACKER B, KOOPMAN S J. Likelihood-Based Dynamic Factor Analysis for Measurement and Forecasting [J]. The Econometrics Journal, 2015, 18(2): C1—C21.

[7] BHATTACHARYA A, DUNSON D B. Sparse Bayesian Infinite Factor Models [J]. Biometrika, 2011, 98(2): 291—306.

[8] JUNGBACKER B, KOOPMAN S J. Maximum Likelihood Estimation for Dynamic Factor Models with m Missing Data [J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2011, 35(8): 1358—1368.

[9] KAI C, DAVID B, DUNSON. Generalized Dynamic Factor Models for Mixed Measurement Time Series [J]. Journal of

Computational and Graphical Statistics, 2014, 23(1): 169–191.

[10] 赵琳, 张珣, 徐山鹰. 基于广义动态因子模型的中国出口周期分析与预测 [J]. 系统科学与数学, 2011, 31(3): 312–325.

[11] 董锋, 谭清美, 周德群. 多指标面板数据下的企业 R&D 能力因子分析 [J]. 研究与发展管理, 2009, 21(3): 51–55.

[12] 罗国旺, 刘衍民, 黄建文, 等. 基于 Topisis 改进的因子分析模型在面板数据中的应用研究——以中国经济为例 [J]. 数学的实践与认识, 2015, 45(16): 77–85.

[13] DVICTOR U, RAHMAT G, ARIS S. Data-Based Fuzzy TOPSIS for Alternative Ranking [J]. Jurnal Sistem Informasi Bisnis, 2016, 3(2): 104–108.

[14] MEHRALIAN G N, JAMALI A. TOPSIS Approach to Prioritize Critical Success Factors of TQM [J]. The TQM Journal, 2016, 28(2): 235–249.

[15] HSU S S. A Mixed-Data Evaluation in Group TOPSIS with Differentiated Decision Power [J]. Group Decision and Negotiation, 2016, 25(3): 537–565.

[16] PASI L, MIKAEL C. Histogram Ranking with Generalised Similarity-Based TOPSIS Applied to Patent Ranking [J]. International Journal of Operational Research, 2016, 25(4): 437–448.

[17] PRABBU S, VINAYAGAM B K. Multiresponse Optimization of Edm Process with Nanofluids Using Topsis Method and Genetic Algorithm [J]. Archive of Mechanical Engineering, 2016, 63(1): 45–71.

[18] 李晓晖, 谭清美, 赵爱文. 基于因子分析和 Logistic 模型的中国客运量预测 [J]. 系统管理学报, 2014, 23(3): 444–450.

[19] 王小平, 陈永国. 区域生产性服务业梯度与协作发展研究——以京津冀经济圈为例 [J]. 河北经贸大学学报, 2008, 29(2): 70–74.

[20] 张志彬. 生产性服务业与城市经济可持续发展研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2013.

On Application of Factor Analysis Model in Development of Service Industry Based on Theory of Topsis

LUO Guo-wang¹, LIU Yan-min², PU Hao²

1. College of Applied Sciences, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. School of Mathematics and Computational Science, Zunyi Normal College, Zunyi Guizhou 563002, China

Abstract: In view of the deficiency existing in the practical application of the existing literature panel data factor analysis model, the model takes the highest and lowest points of the cross section data factor in each year as the best and worst vector, and through the TOPSIS theory, the close degree of the optimal factor of each research object has been obtained. In order to Chinese in the development of service industry as an example, the optimal factor model for proximity to describe service industry in various regions development, and found that most of the provinces for the development of service industry and the optimal factor close degree have great distance.

Key words: panel data; factor analysis; TOPSIS; China’s service industry

责任编辑 张 杓