

控制与决策

Control and Decision

基于面板数据的灰色B型关联模型及其应用

罗党, 张曼曼

引用本文:

罗党, 张曼曼. 基于面板数据的灰色B型关联模型及其应用[J]. *控制与决策*, 2020, 35(6): 1476–1482.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1054>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于面板数据的灰色曲率关联模型](#)

The grey curvature incidence model based on panel data

控制与决策. 2020, 35(5): 1072–1076 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0441>

[基于面板数据的灰色指标关联模型构建及其应用](#)

Grey incidence model for relationship between indicators of panel data and its application

控制与决策. 2019, 34(5): 1077–1084 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1538>

[面板数据的灰色矩阵关联模型及在旱灾脆弱性风险中的应用](#)

Grey matrix incidence model for panel data and its application in drought vulnerability risk

控制与决策. 2018, 33(11): 2051–2056 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0881>

[基于灰关联度的面板数据聚类方法及在空气污染分析中的应用](#)

Panel data clustering method based on grey correlation degree and its application in air pollution analysis

控制与决策. 2017, 32(12): 2227–2232 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.1405>

[面板数据下的灰色指标关联聚类模型与应用](#)

Grey relational clustering model for panel data clustering on indicators and its application

控制与决策. 2015, 30(8): 1447–1452 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2014.0814>

基于面板数据的灰色 B 型关联模型及其应用

罗 党[†], 张曼曼

(华北水利水电大学 数学与统计学院, 郑州 450046)

摘 要: 基于灰色 B 型关联分析的基本思想, 针对现有面板数据灰色关联模型中对象排列顺序变化引起的关联序不一致的问题, 以及因未充分考虑对象维度序列关于同一时刻不同对象下均值的变化率导致关联结果失真的问题, 从时间维度和对象维度两个方面构建基于面板数据的灰色 B 型关联模型. 在时间维度上, 通过引进各指标间的总体位移差、一阶斜率差及二阶斜率差得到横向关联度; 在对象维度上, 采用各点与同一时刻不同对象下均值之比来刻画纵向关联度, 并对两者求加权平均, 进而构建出基于面板数据的灰色 B 型关联模型. 讨论模型的规范性、一致保序性等性质. 对比分析表明, 模型简单有效且不受对象排列顺序的影响. 以豫北平原 5 个市的干旱灾害风险指数为特征指标序列, 理清干旱灾害风险指数与其 12 个影响因素的关联关系, 为旱灾风险评估与调控提供理论支持.

关键词: 面板数据; B 型关联分析; 时间维度; 对象维度; 干旱灾害风险指数

中图分类号: N941.5

文献标志码: A

Grey incidence model of B-mode based on panel data and its application

LUO Dang[†], ZHANG Man-man

(School of Mathematics and Statistics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Based on the basic idea of the grey relational analysis of B-mode, aiming at the defects of the association order inconsistency caused by the change of object arrangement sequence in the grey relational model of the existing panel data and the problem of distortion caused by not fully considering the change rate between object dimension sequence and the mean for different objects at the same time, the gray incidence model of B-mode based on panel data is constructed from two aspects of time dimension and object dimension. In the time dimension, the horizontal correlation degree is obtained by introducing the overall displacement difference, the first order slope difference and the two order slope difference between each index. In the object dimension, the vertical correlation degree is described by the ratio of each point and the mean of the different objects at the same time. And then, the grey incidence model of B-mode based on panel data is constructed by calculating the weighted average of the two correlation degrees. The properties of normalization and multiple transformation isotonicity of the model are discussed. The example shows that the model is simple and effective, and is not affected by the order of objects. Finally, the drought hazard index of five cities in Northern Henan Plain is used as the characteristic index sequence to clarify the relationship between the drought risk index and its 12 influencing factors, which provides a theoretical basis for the drought risk assessment and regulation.

Keywords: panel data; relational analysis of B-mode; time dimension; object dimension; drought disaster risk

0 引 言

干旱灾害是影响我国经济社会发展的主要自然灾害之一, 一般指由土壤水分不足, 农作物水分平衡遭到破坏导致减产或歉收而带来的粮食问题, 甚至引发饥荒. 随着我国经济社会的持续发展和人类活动的显著加剧, 干旱的发生频率和强度不断增大, 干旱

灾害的影响范围不断扩大, 影响程度不断加剧, 我国抗旱减灾体系建设总体上仍严重滞后, 抗旱减灾面临着系列新情况和新问题^[1-2]. 金菊良等^[3]从旱灾系统各个子系统的相互作用出发, 提出了由 14 类分析技术组成的干旱分析技术体系, 系统综述了 14 类分析技术的研究现状; 赵静^[4]以豫北地区为研究对象,

收稿日期: 2018-07-31; 修回日期: 2018-12-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71271086, 51979106); 河南省科技攻关计划项目(182102310014); 河南省高等学校重点科研项目(18A630030); 河南省研究生教育优质课程建设项目(HNYJS2015KC02).

责任编辑: 刘宝碇.

[†]通讯作者. E-mail: iamld99@163.com.

综合4种干旱类型,从致灾因子的危险性、承灾体的暴露性和危险性及防灾减灾能力出发,运用多种方法建立了干旱灾害风险评价模型。

旱灾的发生具有频发性、突发性、不确定性等特点,由于认知水平具有局限性,采集的数据出现了“数据不准确、信息不完全”等问题,给传统的统计方法带来诸多不便,而近年来快速发展的灰色关联分析恰巧擅长处理这类“部分信息已知”的不确定性问题。干旱灾害风险研究的数据是:由多个研究对象、多个指标在不同时间点上共同作用形成的数据集合,具有对象、指标和时间3个维度,是典型的多指标面板数据形式。为了更有效地进行防灾减灾工作,需结合干旱形成机制,利用面板数据,从对象维度和时间维度两个方面对影响干旱灾害风险的社会、经济因素进行灰色关联分析。

灰色关联分析是灰色系统理论中十分活跃的一个分支,其基本思想是根据序列曲线几何相似程度判断不同序列间的联系是否紧密。在灰色关联分析模型^[5-6]的基础上,诸多学者构建了许多基于点关联系数的模型,包括灰色B型关联模型^[7]、C型关联分析模型^[8]、T型关联度^[9]、灰色欧几里德关联度^[10]、灰色凸关联度^[11]等。更有学者围绕其性质进行了许多有益的探索^[12-13]。上述研究成果现已成功应用于经济、管理、军事、交通、工业、农业、社会等众多领域^[14-17]。但是,现有的灰色关联模型主要适用于时间序列与截面序列的关联分析,而对于面板数据的灰色关联模型的研究还处于起步阶段。

在面板数据下,矩阵序列与几何图形间的映射关系发生改变,原来的建模机理将不再适用,需要根据矩阵序列在空间中的几何相似程度判断各序列联系的紧密程度。文献[18]将面板数据投射为空间的向量序列,基于空间向量的夹角和距离分别构建了相似性和接近性关联度模型;文献[19]基于接近性特点,构建了反映折线拟合程度的相对面积,以此定义了新型灰色接近关联系数,并将序列映射方法拓展到三维空间,提出了灰色网格概念,得到了基于面板数据的灰色接近关联模型;文献[20]用网格法描述面板数据在三维空间中的几何特性,提出了灰色网格关联度模型;文献[21]在三维空间中讨论面板数据各指标的几何特征相似性,提出了基于矩阵的扩展灰色绝对关联度;文献[22]利用黑塞矩阵的半正定性在三维空间中定义凸度,提出了三维灰色凸关联度的概念;文献[23]在矩阵表征中增加了各指标对应的变化增量和变化速度,并用均方根距离对指标矩阵的相似性进行

测度,提出了灰色矩阵关联模型;文献[24]综合考虑指标发展水平、指标发展水平变化和指标发展速度变化3个因素,构造了基于面板数据时空特征的灰色矩阵关联模型。

已有的研究成果或者会因对象排列顺序变化导致关联序发生变化,或者会因未充分考虑对象维度序列关于同一时刻不同对象下均值的变化率导致关联结果失真。基于此,本文从时间维度上考察各指标的总位移动差、一阶斜率差及二阶斜率差,构建了时间维度的横向关联度;从对象维度上采用各序列与同一时刻不同对象下均值的比值来刻画对象维度的纵向关联度,并对两者求加权平均,得到基于面板数据的灰色B型关联模型。

1 预备知识

1.1 面板数据矩阵表征

与传统的数据序列不同,面板数据是同时考虑指标维度、对象维度以及时间维度的三维数据表。设有 I 个研究指标, S 个研究对象,时间长度为 T ,若用 $x_i^*(s, t)$ ($i = 1, 2, \dots, I, s = 1, 2, \dots, S, t = 1, 2, \dots, T$)表示在第 i 个指标下第 s 个对象在第 t 个时刻的观测值,则三维面板数据可以用一个二维矩阵 X^* 表示,其中 $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_I^*)$,且第 i 个指标的效果测度矩阵为

$$X_i^* = \begin{bmatrix} x_i^*(1, 1) & x_i^*(1, 2) & \dots & x_i^*(1, T) \\ x_i^*(2, 1) & x_i^*(2, 2) & \dots & x_i^*(2, T) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^*(S, 1) & x_i^*(S, 2) & \dots & x_i^*(S, T) \end{bmatrix},$$

$$i = 1, 2, \dots, I.$$

在面板数据下,矩阵序列与几何图形间的映射关系改变,原来的建模机理将不再适用。此时可以运用文献[18]中构建空间网格结构的思想,将面板数据划分为时间维度的横向数据序列和对象维度的纵向数据序列,将两种类型的序列分别建模处理,最后对建模结果求加权平均值。

1.2 灰色关联分析问题描述

在传统数据序列中,灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何相似程度判断不同序列间的联系是否紧密。几何形状越接近,相应序列间的关联度越大,反之越小。而在面板数据下,需要根据矩阵序列在空间中的几何相似程度判断各序列联系的紧密程度。

在某一面板数据背景下,设对象集合为 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_S\}$,指标集合为 $B = \{B_0, B_1, \dots, B_I\}$,

时间集合为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_T\}$. 其中: B_0 为特征指标, $B_i (i = 1, 2, \dots, I)$ 为因素指标. 目的是通过集成各对象在相应指标下不同时点处的信息, 对影响特征指标 B_0 的各因素指标 $B_i (i = 1, 2, \dots, I)$ 进行科学合理的排序, 进而得到特征指标 B_0 的各影响因素的主次关系.

1.3 数据处理

定义1(面板数据极差变换公式) 设特征指标 B_0 和因素指标 $B_i (i = 1, 2, \dots, I)$ 的效果测度矩阵分别为 $X_0^*, X_i^* (i = 1, 2, \dots, I)$.

若 $B_j (j = 0, 1, \dots, I)$ 为效益型指标, 则设

$$X_j = \{x_j(s, t)\}_{S \times T} = \frac{x_j^*(s, t) - \min_s \min_t \{x_j^*(s, t)\}}{\max_s \max_t \{x_j^*(s, t)\} - \min_s \min_t \{x_j^*(s, t)\}}; \quad (1)$$

若 $B_j (j = 0, 1, \dots, I)$ 为成本型指标, 则设

$$X_j = \{x_j(s, t)\}_{S \times T} = \frac{\max_s \max_t \{x_j^*(s, t)\} - x_j^*(s, t)}{\max_s \max_t \{x_j^*(s, t)\} - \min_s \min_t \{x_j^*(s, t)\}}. \quad (2)$$

称式(1)和(2)为面板数据的极差变换公式.

经过极差变换后, 各指标间的量纲被消除, 且效果测度矩阵中的元素均为区间 $[0, 1]$ 内的值, 数值越接近1, 效果值越优, 数值越接近0, 效果值越差.

定义2(横向总体位移差) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 称 $x_{0i}(s, t)$ 为对象 A_s 在指标 B_0 和 B_i 下时刻 C_t 处的位移差, d_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 的横向总体位移差. 其中

$$x_{0i}(s, t) = |x_i(s, t) - x_0(s, t)|, \quad s = 1, 2, \dots, S, t = 1, 2, \dots, T; \quad (3)$$

$$d_{0i} = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T x_{0i}(s, t), \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (4)$$

横向总体位移差反映了指标间发展过程的相近性, 当横向总体位移差 $d_{0i} = 0$ 时, 表明指标 B_0 与指标 B_i 的发展过程完全相同.

定义3(横向总体一阶斜率差) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 则称 $x'_{js}(s, t)$ 为对象 A_s 在指标 B_j 下时刻 C_t 处的一阶斜率差, d'_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 的横向总体一阶斜率差. 其中

$$x'_{js}(s, t) = \frac{x_j(s, t+1) - x_j(s, t)}{t+1-t} =$$

$$x_j(s, t+1) - x_j(s, t), \quad j = 0, 1, \dots, I, \quad s = 1, 2, \dots, S, \quad t = 1, 2, \dots, T-1; \quad (5)$$

$$d'_{0i} = \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^{T-1} |x'_{is}(s, t) - x'_{0s}(s, t)|, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (6)$$

横向总体一阶斜率差反映了指标间发展过程的相似性, 当横向总体一阶斜率差 $d'_{0i} = 0$ 时, 表明指标 B_0 与指标 B_i 的发展过程完全相似.

定义4(横向总体二阶斜率差) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 则称 $x''_{js}(s, t)$ 为对象 A_s 在指标 B_j 下时刻 C_t 处的二阶斜率差, d''_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 的横向总体二阶斜率差. 其中

$$x''_{js}(s, t) = \frac{[x_j(s, t+1) - x_j(s, t)] - [x_j(s, t) - x_j(s, t-1)]}{t+1-(t-1)} = \frac{[x_j(s, t+1) - x_j(s, t)] - [x_j(s, t) - x_j(s, t-1)]}{2},$$

$$j = 0, 1, \dots, I, \quad s = 1, 2, \dots, S, \quad t = 2, 3, \dots, T-1; \quad (7)$$

$$d''_{0i} = \sum_{s=1}^S \sum_{t=2}^{T-1} |x''_{is}(s, t) - x''_{0s}(s, t)|, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (8)$$

横向总体二阶斜率差反映了指标间发展速度的相似性, 当横向总体二阶斜率差 $d''_{0i} = 0$ 时, 表明指标 B_0 与指标 B_i 的发展速度完全相似.

为避免对象顺序变化对关联度产生影响, 采用各序列与同一时刻不同对象均值的比值刻画对象维度的纵向变化速率差.

定义5(纵向变化速率差) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 则称 \bar{d}_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 的纵向变化速率差. 其中

$$\bar{d}_{0i} = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S |[x_i(s, t)/\bar{x}_{it}] - [x_0(s, t)/\bar{x}_{0t}]|, \quad i = 1, 2, \dots, I; \quad (9)$$

$$\bar{x}_{jt} = \frac{\sum_{s=1}^S x_j(s, t)}{S}, \quad j = 0, 1, \dots, I, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (10)$$

2 基于面板数据的灰色B型关联分析

2.1 模型构建

定义6(横向关联度) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 在此, 借助文献[19]中用下降速率较快、辨析性较强的指数函数 $f(x) = e^{-x}$ 代替分式函数 $f(x) = 1/(1+x)$ 的思想构建关联度模型, 称 α_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 关于时间维度的横向关联度. 其中

$$\alpha_{0i} = \exp \left\{ - \left[\frac{1}{S \cdot T} \cdot d_{0i} + \frac{1}{S \cdot (T-1)} \cdot d'_{0i} + \frac{1}{S \cdot (T-2)} \cdot d''_{0i} \right] \right\}. \quad (11)$$

定义7(纵向关联度) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 称 β_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 关于对象维度的纵向关联度. 其中

$$\beta_{0i} = \exp \left(- \frac{1}{S \cdot T} \cdot \bar{d}_{0i} \right). \quad (12)$$

定义8(基于面板数据的灰色B型关联度) 设指标 B_0 和指标 B_i 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_i (i = 1, 2, \dots, I)$, 称 γ_{0i} 为指标 B_0 和指标 B_i 的综合关联度. 其中

$$\gamma_{0i} = \omega_1 \cdot \alpha_{0i} + \omega_2 \cdot \beta_{0i}, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (13)$$

这里: ω_1, ω_2 分别为时间维度的横向关联度和对象维度的纵向关联度所占权重, $0 \leq \omega_1, \omega_2 \leq 1$ 且 $\omega_1 + \omega_2 = 1$, 权重值可以根据实际情况给定, 通常取 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$.

由于该综合关联度中时间维度的横向关联度运用了文献[7]中传统数据序列下灰色B型关联分析的思想, 又称该关联度为基于面板数据的灰色B型关联度.

2.2 基于面板数据的灰色B型关联模型建模步骤

step 1: 根据1.2节确定对象集合 A 、指标集合 B 、时间集合 C 及各指标对应的面板数据 $X_j^* (j = 0, 1, \dots, I)$;

step 2: 根据定义1, 对面板数据 X_j^* 进行极差变换, 消除量纲 ($j = 0, 1, \dots, I$);

step 3: 根据定义2~定义8, 计算特征指标与各因素指标的横向关联度 (α_{0i}) 和纵向关联度 (β_{0i}), 并对两者求加权平均值得到基于面板数据的灰色B型关联度 (γ_{0i}) ($i = 1, 2, \dots, I$);

step 4: 按照基于面板数据的灰色B型关联度的大小确定各因素指标的关联序, 进而确定特征指标的

各影响因素的主次关系.

2.3 基于面板数据的灰色B型关联模型的性质

定理1 基于面板数据的灰色B型关联模型满足以下性质:

- 1) 规范性: $0 < \gamma_{0i} \leq 1, \gamma_{0i} = 1 \Leftrightarrow X_0 = X_i$;
- 2) 接近性: X_0 与 X_i 越接近, γ_{0i} 越大;
- 3) 对称性: $\gamma_{0i} = \gamma_{i0}$;
- 4) 正定性: $\gamma_{0i} = 1$ 当且仅当 X_0 与 X_i 间的关系唯一确定;
- 5) 可比性: 各指标下的面板数据量纲统一;
- 6) 一致保序性: 数乘变换前后关联序不改变.

证明 由基于面板数据的灰色B型关联度的公式推导过程可知, 该关联度满足1)~5). 下面证明6).

设指标 B_0, B_{i_1}, B_{i_2} 经过极差变换后的面板数据分别为 $X_0, X_{i_1}, X_{i_2} (i_1, i_2 = 1, 2, \dots, I, i_1 \neq i_2)$, 假设 $\gamma_{0i_1} > \gamma_{0i_2}, Y_0 = aX_0, Y_s = aX_s, s = i_1, i_2, a = \text{const} > 0$.

设 $D_{0s}, D'_{0s}, D''_{0s}, \bar{D}_{0s}$ 分别为面板数据 Y_0 与 Y_s 的总体位移差, 横向总体一阶斜率差, 横向总体二阶斜率差, 纵向变化速率差, γ'_{0s} 为 Y_0 与 Y_s 的综合关联度, 则根据定义3~定义8可知

$$\begin{aligned} D_{0s} &= a \cdot d_{0s}, \quad D'_{0s} = a \cdot d'_{0s}, \\ D''_{0s} &= a \cdot d''_{0s}, \quad \bar{D}_{0s} = a \cdot \bar{d}_{0s}. \end{aligned}$$

故而有 $\gamma'_{0s} = \exp(-a) \cdot \gamma_{0s}$, 又因为 $\gamma_{0i_1} > \gamma_{0i_2}$, 故 $\gamma'_{0i_1} > \gamma'_{0i_2}$, 因此, 该模型满足一致保序性. \square

3 对比分析

设有4组面板数据:

$$\begin{aligned} X_0 &= \begin{bmatrix} 1.2 & 1.5 & 1.8 \\ 1.4 & 2 & 2.2 \\ 1.8 & 2.1 & 2.5 \end{bmatrix}, \quad X_1 = \begin{bmatrix} 1.5 & 1.1 & 1 \\ 1.3 & 1 & 0.6 \\ 0.9 & 0.8 & 0.4 \end{bmatrix}, \\ X_2 &= \begin{bmatrix} 1.4 & 1.9 & 2.1 \\ 1.6 & 0.3 & 2.5 \\ 1.9 & 2.5 & 2.8 \end{bmatrix}, \quad X_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1.8 & 1.6 \\ 1.2 & 2.3 & 3 \\ 1.9 & 2.4 & 4.3 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

其中: X_0 为特征指标矩阵, X_1, X_2, X_3 为因素指标矩阵. 按照本文介绍的基于面板数据的灰色B型关联模型求得因素指标与各特征指标的关联度为

$$\gamma_{01} = 0.6377, \quad \gamma_{02} = 0.6631, \quad \gamma_{03} = 0.7555,$$

关联序为 $\gamma_{03} > \gamma_{02} > \gamma_{01}$.

把各组面板数据在三维空间中表示出来, 结果如图1所示.

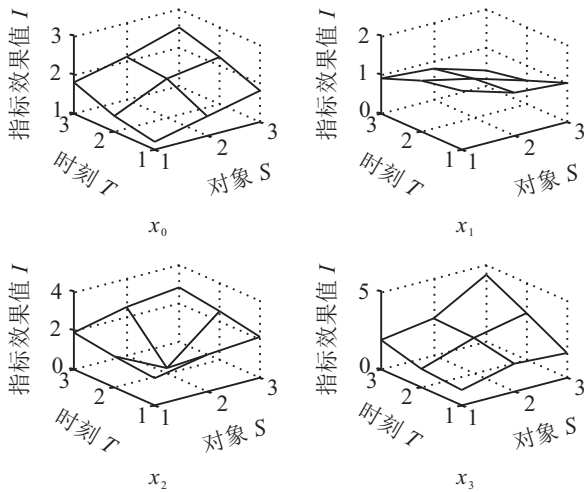


图1 各组面板数据三维图

由图1可以看出,无论从时间维度还是对象维度,面板数据 X_1 与 X_0 中元素呈现相反方向的变化,最不相似, X_2 与 X_0 的变化情况比较相似, X_3 与 X_0 的发展变化情况最为相似. 实际情况与采用本文模型求得的关联序一致. 经验证表明,用文献[20-22]介绍的模型求得的关联序皆会随对象排列顺序变化而变化,而本文方法不会出现类似的情况,部分对比结果如表1所示. 用文献[23]中的方法求得的关联序虽不会随对象排列顺序变化而变化,但其只考虑了时间维度的横向关联度,而未考虑对象维度的纵向关联度,用其中方法计算本例中因素指标与各特征指标的关联度,最终求得的关联序为 $\gamma_{03} > \gamma_{01} > \gamma_{02}$, 与实际情况(图1)不完全符合,表明其未解决因未充分考虑对象维度关于均值的变化率导致关联结果失真的问题,而本文中基于面板数据的灰色B型关联模型解决了这一问题.

表1 样本的排列顺序对关联序的影响

样本顺序	方法	面板数据灰色关联度			关联序
		γ_{01}	γ_{02}	γ_{03}	
s_1, s_2, s_3	文献[20]	0.5765	0.6378	0.7822	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	文献[21]	0.7314	0.5247	0.7795	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	文献[22]	-0.9261	0.6073	0.7023	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	文献[23]	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	本文	0.6377	0.6631	0.7555	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
s_1, s_3, s_2	文献[20]	0.5857	0.8966	0.7648	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[21]	0.6140	0.7858	0.7498	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[22]	-0.9279	0.7483	0.6892	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[23]	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	本文	0.6377	0.6631	0.7555	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
s_2, s_1, s_3	文献[20]	0.5608	0.8750	0.7843	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[21]	0.6208	0.4595	0.7703	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	文献[22]	-0.9224	0.6405	0.7009	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[23]	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	本文	0.6377	0.6631	0.7555	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$

4 实例分析

干旱灾害是我国主要的自然灾害之一,且发生频率高,波及范围广,持续时间长,严重制约我国人民生活及社会经济的正常运行.河南省位于平原地带,是我国重要的粮食生产基地,但因季风性气候的影响,干旱频繁发生,严重影响了粮食的生产.

根据自然灾害风险理论和干旱灾害风险的形成原理,从干旱灾害风险的4因子(危险性(H)、脆弱性(E)、暴露性(V)和防灾减灾能力(C))出发,选取12个副因素用于评价干旱灾害风险的程度^[4]. 危险性(H)表示引起干旱灾害的气象现象、地形、水文特征,其副因素包括降雨量 X_1 、地下水资源量 X_2 、地表水资源量 X_3 ; 暴露性(E)描述当干旱灾害发生时受灾区的人口、经济状况等,其副因素包括人口密度 X_4 、农林牧渔业产值 X_5 、工业总产值 X_6 、植被覆盖率 X_7 ; 脆弱性(V)表示受灾区暴露物体在干旱灾害中受影响的程度,其副因素包括人均生活用水量 X_8 、万元GDP工业用水量 X_9 ; 防灾减灾能力(C)表示受灾区在长期和短期内能够从灾害中恢复的程度,其副因素包括有效灌溉面积 X_{10} 、人均收入 X_{11} 、在校学生比例 X_{12} . 上述4个方面综合作用,影响着区域干旱灾害风险的大小.

根据干旱灾害形成机制,建立如下干旱灾害风险指数模型^[4]:

$$ADRI = (H^{\omega_h}) \cdot (E^{\omega_e}) \cdot (V^{\omega_v}) \cdot [1 - C]^{\omega_c},$$

$$H = \sum_{i=1}^3 X_i \omega_i, \quad E = \sum_{i=4}^7 X_i \omega_i,$$

$$V = \sum_{i=8}^9 X_i \omega_i, \quad C = \sum_{i=10}^{12} X_i \omega_i.$$

其中: ADRI是干旱灾害风险指数,表示干旱灾害的风险程度,其值越大,干旱灾害风险的程度越大; H, E, V, C 分别表示危险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力的因子指数; $\omega_e, \omega_h, \omega_v, \omega_c$ 分别表示危险性、暴露性、脆弱性及防灾减灾能力的权重; X_i 表示各副因素评价指标经过极差变换后的量化值; ω_i 表示各副因素评价指标的权重.

为判断各副指标对干旱灾害风险的影响程度,现以豫北平原5个市级区域的各指标值为例,计算安阳、鹤壁、新乡、焦作、濮阳5个地区的干旱灾害风险指数,其结果如图2所示(数据来源于2008~2016年河南省统计年鉴及河南省水资源公报).

根据2.2节给出的基于面板数据的灰色B型关联模型的建模步骤,取 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$, 计算得到12个因

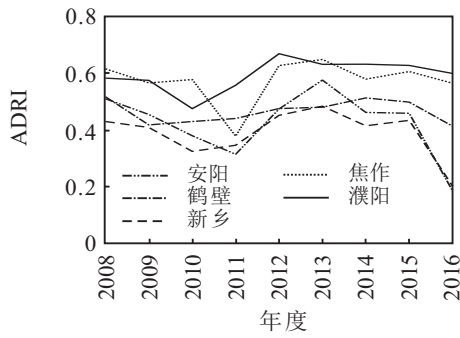


图2 各地区干旱灾害风险指数

素指标与干旱灾害风险指数的关联度如表2所示。

由表2可以看出,干旱灾害风险指数的影响因素从大到小排列的顺序为:地表水资源量(X_3)、降雨量(X_1)、地下水资源量(X_2)、人均生活用水量(X_8)、有

效灌溉面积(X_{10})、万元GDP工业用水量(X_9)、植被覆盖率(X_7)、工业总产值(X_6)、人口密度(X_4)、在校学生比例(X_{12})、农林牧渔业产值(X_5)、人均收入(X_{11})。关联结果表明地表水资源量、降雨量、地下水资源量、人均生活用水量、有效灌溉面积是影响干旱灾害风险指数的主要因素,其中地表水资源量对其影响最大,降雨量次之,人均收入对其影响最小。

干旱的本质就是水循环过程中任一环节发生水分亏缺,而地表水资源量、降雨量以及地下水资源量的亏缺都会直接导致水循环中某一环节或若干环节水分缺失从而引发干旱,因此,关联结果符合实际,进一步验证了基于面板数据的灰色B型关联模型的有效性。

表2 干旱灾害风险指数与其影响因素的关联度

关联度	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
横向关联度	0.863 8	0.909 6	0.875 4	0.872 0	0.842 5	0.877 2	0.831 3	0.895 8	0.873 7	0.85 75	0.856 7	0.851 5
纵向关联度	0.832 7	0.766 9	0.837 2	0.637 5	0.562 6	0.644 4	0.737 1	0.728 9	0.717 7	0.755 6	0.512 4	0.615 4
基于面板数据的灰色B型关联度	0.848 3	0.838 3	0.856 3	0.757 4	0.702 6	0.760 8	0.784 2	0.812 4	0.795 7	0.806 5	0.684 5	0.733 4
关联序	2	3	1	9	11	8	7	4	6	5	12	10

5 结 论

本文结合传统数据序列下的灰色B型关联分析,从时间维度和对象维度两个角度出发,用下降速率较快、辨析性较强的指数函数代替分式函数的思想,构建了基于面板数据的灰色B型关联模型,提高了模型的分辨效果,既解决了因对象排列顺序变化而影响关联序的问题,又解决了因未充分考虑对象维度序列关于同一时刻不同对象下均值的变化率导致关联结果失真的问题。从理论方面证明了模型的规范性、接近性、对称性、可比性、正定性以及一致保序性。最后运用该模型对2008~2016年豫北平原5个市干旱灾害风险指数的12个影响因素进行了分析,理清了干旱灾害风险指数与其影响因素的关联关系,为旱灾风险评估与调控提供了理论支持。

尽管基于面板数据的灰色B型关联模型克服了其他方法的许多不足,但仍有许多限制需要改进:1) 权重的获取是模糊的;2) 模型仅适用于等间距且等长度序列;3) 本文只考虑了单目标多指标下的关联分析问题。因此,如何构造特定应用环境下变权、非等间距、多目标多指标下的关联分析模型是未来值得进一步研究的问题。

参考文献(References)

[1] 李原园, 梅锦山, 郇建强. 干旱灾害风险评估与调控[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017: 130-159.
(Li Y Y, Mei J S, Li J Q. Risk assessment and regulation of

drought disaster[M]. Beijing: China Water Power Press, 2017: 130-159.)
 [2] 雷宏军, 潘红卫, 王小东, 等. 区域农业干旱灾害风险评估与预测[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016: 40-99.
(Lei H J, Pan H W, Wang X D, et al. Regional agricultural drought risk assessment and prediction[M]. Beijing: China Water Power Press, 2016: 40-99.)
 [3] 金菊良, 杨齐祺, 周玉良, 等. 干旱分析技术的研究进展[J]. 华北水利水电大学学报: 自然科学版, 2016, 37(2): 1-15.
(Jin J L, Yang Q Q, Zhou Y L, et al. Research progress on drought analysis technologies[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power: Natural Science Edition, 2016, 37(2): 1-15.)
 [4] 赵静. 气候变化背景下豫北地区干旱灾害风险分析[D]. 长春: 东北师范大学城市与环境科学学院, 2012: 19-24.
(Zhao J. Analysis of drought risk to climate change in the northern Henan province[D]. Changchun: College of Urban and Environmental Sciences Institute of Natural Disasters, Northeast Normal University, 2012: 19-24.)
 [5] 刘思峰, 杨英杰, 吴利丰, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 第7版. 北京: 科学出版社, 2014: 63-112.
(Liu S F, Yang Y J, Wu L F, et al. The grey system theory and application[M]. 7th ed. Beijing: Sciences Press, 2014: 63-112.)
 [6] Liu S F, Yang Y J, Gao Y, et al. A summary on the research of GRA models[J]. Grey Systems: Theory & Applications, 2013, 3(1): 7-15.
 [7] 王清印. 灰色B型关联分析[J]. 华中理工大学学报,

- 1989, 17(6): 77-82.
(Wang Q Y. The grey relational analysis of B-mode[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 1989, 17(6): 77-82.)
- [8] 王清印, 赵秀恒. C型关联分析[J]. 华中理工大学学报, 1999, 27(3): 75-77.
(Wang Q Y, Zhao X H. The relational analysis of C-mode[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 1999, 27(3): 75-77.)
- [9] 唐五湘. T型关联度及其计算方法[J]. 数理统计与管理, 1995, 14(1): 33-37.
(Tang W X. The concept and the computation method of T's correlation degree[J]. Application of Statistics and Management, 1995, 14(1): 33-37.)
- [10] 赵艳林, 韦树英, 梅占馨. 灰色欧几里德关联度[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 1998, 23(1): 10-13.
(Zhao Y L, Wei S Y, Mei Z X. Grey euclid relation grade[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 1998, 23(1): 10-13.)
- [11] 吴利丰, 王义闹, 刘思峰. 灰色凸关联及其性质[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(7): 1501-1505.
(Wu L F, Wang Y N, Liu S F. Grey convex relation and its properties[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2012, 32(7): 1501-1505.)
- [12] 谢乃明, 刘思峰. 几类关联度模型的平行性和一致性[J]. 系统工程, 2007, 25(8): 98-103.
(Xie N M, Liu S F. The parallel and uniform properties of several relational models[J]. Systems Engineering, 2007, 25(8): 98-103.)
- [13] 崔杰, 党耀国, 刘思峰. 几类关联分析模型的新性质[J]. 系统工程, 2009, 27(4): 65-70.
(Cui J, Dang Y G, Liu S F. Novel properties of some grey relational analysis models[J]. Systems Engineering, 2009, 27(4): 65-70.)
- [14] Liu W J, Zhang J, Jin M Z, et al. Key indices of the remanufacturing industry in China using a combined method of grey incidence analysis and grey clustering[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 168(1): 1348-1357.
- [15] Yang K, Ding Y, Zhu N, et al. Multi-criteria integrated evaluation of distributed energy system for community energy planning based on improved grey incidence approach: A case study in Tianjin[J]. Applied Energy, 2018, 229(1): 352-363.
- [16] Sun G D, Guan X, Yi X, et al. Grey relational analysis between hesitant fuzzy sets with applications to pattern recognition[J]. Expert Systems With Applications, 2018, 92(1): 521-532.
- [17] 罗党, 张曼曼. 灰信息下干旱灾害风险影响因素的灰色关联分析[J]. 华北水利水电大学学报: 自然科学版, 2018, 39(5): 82-87.
(Luo D, Zhang M M. Grey correlation analysis of factors affecting drought risk under grey information[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power: Natural Science Edition, 2018, 39(5): 82-87.)
- [18] 吴鸿华, 穆勇, 屈忠锋, 等. 基于面板数据的接近性和相似性关联度模型[J]. 控制与决策, 2016, 31(3): 555-558.
(Wu H H, Mu Y, Qu Z F, et al. Similarity and nearness relational degree based on panel data[J]. Control and Decision, 2016, 31(3): 555-558.)
- [19] 刘震, 党耀国, 周伟杰, 等. 新型灰色接近关联模型及其拓展[J]. 控制与决策, 2014, 29(6): 1071-1075.
(Liu Z, Dang Y G, Zhou W J, et al. New grey nearness incidence model and its extension[J]. Control and Decision, 2014, 29(6): 1071-1075.)
- [20] 张可, 刘思峰. 灰色关联聚类在面板数据中的扩展及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1253-1259.
(Zhang K, Liu S F. Extended clusters of grey incidences for panel data and its application[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2010, 30(7): 1253-1259.)
- [21] 吴利丰, 刘思峰. 基于灰色凸关联度的面板数据聚类方法及应用[J]. 控制与决策, 2013, 28(7): 1033-1036, 1045.
(Wu L F, Liu S F. Panel data clustering method based on grey convex relation and its application[J]. Control and Decision, 2013, 28(7): 1033-1036.)
- [22] 刘震, 党耀国, 钱吴永, 等. 基于面板数据的灰色网格关联度模型[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(4): 991-996.
(Liu Z, Dang Y G, Qian W Y, et al. Grey grid incidence model based on panel data[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(4): 991-996.)
- [23] 罗党, 叶莉莉, 韦保磊, 等. 面板数据的灰色矩阵关联模型及在旱灾脆弱性风险中的应用[J]. 控制与决策, 2018, 33(11): 2051-2056.
(Luo D, Ye L L, Wei B L, et al. Grey matrix incidence model for panel data and its application in drought vulnerability risk[J]. Control and Decision, 2018, 33(11): 2051-2056.)
- [24] 罗党, 张慧慧. 区域旱灾脆弱性的灰色关联分析方法[J]. 华北水利水电大学学报: 自然科学版, 2018, 39(3): 61-67.
(Luo D, Zhang H H. Grey incidence analysis method for regional drought vulnerability[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power: Natural Science Edition, 2018, 39(3): 61-67.)

作者简介

罗党(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论与决策分析等研究, E-mail: iamld99@163.com;

张曼曼(1995—), 女, 硕士生, 从事灰色系统理论与决策分析的研究, E-mail: zhangmanman924@163.com.

(责任编辑: 闫 妍)