

## 新型灰色接近关联模型及其拓展

刘震, 党耀国, 周伟杰, 夏卫国

(南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106)

**摘要:** 针对接近灰色关联模型的一些不足, 提出了新型灰色接近关联模型和基于面板数据的灰色接近关联模型. 基于接近性特点, 构建了反映折线拟合程度的相对面积, 以此定义新型灰色接近关联系数, 得到接近关联度模型. 同时将序列映射方法拓展到三维空间, 提出灰色网格概念, 依据相同原理得到基于面板数据的灰色接近关联模型. 最后利用模型对沿海8市经济发展水平进行评价, 取得良好效果, 验证了模型的有效性和实用性.

**关键词:** 灰色关联; 关联系数; 接近性; 面板数据

**中图分类号:** N941.5

**文献标志码:** A

## New grey nearness incidence model and its extension

LIU Zhen, DANG Yao-guo, ZHOU Wei-jie, XIA Wei-guo

(College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China.

Correspondent: LIU Zhen, E-mail: liuzhen\_nuaa@126.com)

**Abstract:** For some deficiency of the grey nearness incidence model, the new grey nearness incidence model and the grey nearness incidence model based on panel data are presented. Relying on the foundation of the characteristics of nearness, the relative area that reflects the fitting extent of the polygonal line is constructed, based on which the new grey nearness incidence coefficient is defined, and the grey nearness incidence model is obtained. Meanwhile, the sequence mapping method is extended into the three-dimensional space, thus the grey grid concept is proposed, on the basis of the same theory, the grey nearness incidence model based on panel data is presented. Finally, an application with the proposed model to evaluate the economic development level of coastal eight cities is illustrated to demonstrate the effectiveness and practical applicability of the model owing to its good result.

**Key words:** grey incidence; incidence coefficient; nearness; panel data

## 0 引言

灰色关联是灰色系统理论的一个重要分支, 近年来凭借“小样本、贫信息、不确定、计算简便”等特点取得了飞速发展. 目前, 灰色关联所涉及的数据类型主要分为两类: 一是单指标数据, 二是面板数据. 其基本思想是根据数据序列的几何特性来判别因素之间的相关关系<sup>[1]</sup>, 现已成功应用于管理、经济、军事、交通、社会、工业、农业等众多领域<sup>[2-4]</sup>. 随着应用范围的逐渐扩大, 灰色关联理论也不断改进. 首先邓聚龙根据空间距离提出了邓氏关联度<sup>[5]</sup>; 其后由于处理经济管理问题的需要, 灰色关联模型更多着眼于数据序列的变化率<sup>[6]</sup>、形状<sup>[7]</sup>、周期<sup>[8]</sup>等; 适用范围方面, 为了对动态多指标数据的处理, 灰色关联模型拓展至

三维数据<sup>[9]</sup>, 并且进行了改进<sup>[10]</sup>, 又从整体角度提出了面板数据灰色关联理论<sup>[11]</sup>; 随着灰色关联理论对系统性问题处理的需要, 刘思峰提出了接近性灰色关联模型<sup>[12]</sup>, 但针对接近性的研究仍然存在一些不足.

传统接近性灰色关联公式单纯用折线间所夹面积构造, 数量级的不同会使最终结果丧失可比性; 传统广义灰色关联计算公式无明确几何意义, 不满足规范性, 结果最小值仅为0.5, 辨析度较差; 积分过程存在正负面积相互抵消问题, 不符合接近关联度主要针对折线间拟合程度的思路; 同时, 针对面板数据的灰色接近关联模型研究目前尚不多见, 需要理论的延伸与拓展. 为此, 本文对传统灰色接近关联理论进行改进, 构建了衡量线段拟合程度的相对面积, 解决了用

收稿日期: 2013-04-18; 修回日期: 2013-05-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71071077, 71371098); 江苏高校哲学社会科学重点研究基地项目(2012JDXM005); 中央高校基本科研业务费专项基金项目(NC2012001).

作者简介: 刘震(1987-), 男, 博士生, 从事灰色系统理论的研究; 党耀国(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论、数量经济等研究.

直接面积计算所带来的误差,提出了新型灰色接近关联系数计算公式,得到了新型灰色接近关联模型.将适用范围拓展至面板数据,并将数据点映射到三维空间,相邻点连线后得到空间的网格结构,以此为基础构建了基于面板数据的灰色接近关联模型.最后运用文中模型对南京、杭州、广州、青岛、宁波、厦门、沈阳、济南 8 个沿海副省级城市“十一五”期间的经济发展水平进行评价,取得了合理的排序结果,表明模型具有一定的实用价值和良好的效果.

## 1 新型灰色接近关联模型

灰色接近性关联模型主要考虑序列间的拟合程度,序列越接近表明关联度越大.但接近与否是相对概念,传统接近关联模型仅考虑了折线间的面积,而忽略了数量级的重要性,很大程度地影响了计算结果的准确性和合理性.

本文考虑构造与数量级相关的相对面积体现序列拟合程度,并以此重新构建灰色关联模型.

灰色关联模型主要根据数据序列的几何特征进行计算,因此需将单指标数据序列映射为平面中的连续折线.所考虑序列均为 1-时距序列.

**定义 1** 设有数据序列

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)),$$

其中  $i$  为系统标号,则称

$$X_i(t) = \{x_i(k) + (t-k)(x_i(k+1) - x_i(k)) | k = 1, 2, \dots, n-1, t \in [k, k+1]\}$$

为数据序列  $X_i$  所对应的折线.

本文采取先分段计算再整合的方法体现整体性,将连续折线拆分为线段,考虑线段间的拟合程度.

**定义 2** 设有数据序列  $X_i$ , 其中  $i$  为系统标号,则称

$$s_i(k) = \int_k^{k+1} |X_i(t)| dt \quad (1)$$

为线段与坐标轴间所夹面积,其中  $s_i(k) \geq 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, n-1$ .

**定义 3** 设有数据序列  $X_i, X_j$ , 其中  $i, j$  为系统标号,则称

$$\Delta s_{ij}(k) = \int_k^{k+1} |X_i(t) - X_j(t)| dt \quad (2)$$

为两对应线段间面积差,其中  $\Delta s_{ij}(k) \geq 0$ ,  $k = 1, 2, \dots, n-1$ .

定义 2 和定义 3 分别为改进的面积和面积差计算方法,采用先取绝对值后积分的思想,可以避免正负面积抵消,得到实际围成的面积,符合接近关联模型的基本思想,体现了两线段间的拟合程度,当线段越趋近于重合时其所夹面积越小.

**命题 1** 设有数据序列  $X_i$ , 其中  $i$  为系统标号,则当  $x_i(k) \cdot x_i(k+1) \geq 0$  时,有

$$s_i(k) = \frac{1}{2} |x_i(k) + x_i(k+1)|;$$

当  $x_i(k) \cdot x_i(k+1) < 0$  时,有

$$s_i(k) = \frac{1}{2} \frac{[x_i(k)]^2 + [x_i(k+1)]^2}{|x_i(k) + x_i(k+1)|}.$$

其中  $k = 1, 2, \dots, n-1$ .

**证明** 当  $x_i(k) \cdot x_i(k+1) \geq 0$  时,可将积分看作高为 1 的梯形面积,即

$$s_i(k) = \frac{1}{2} \frac{|x_i(k)|^2}{|x_i(k) + |x_i(k+1)||} + \frac{1}{2} \frac{|x_i(k+1)|^2}{|x_i(k) + |x_i(k+1)||},$$

当  $x_i(k) \cdot x_i(k+1) < 0$  时,为两直角三角形面积,高之和为 1,即

$$s_i(k) = \frac{1}{2} \frac{[x_i(k)]^2 + [x_i(k+1)]^2}{|x_i(k) + |x_i(k+1)||},$$

其中  $k = 1, 2, \dots, n-1$ .  $\square$

**命题 2** 设有数据序列  $X_i, X_j$ , 其中  $i, j$  为系统标号,则当  $[x_i(k) - x_j(k)][x_i(k+1) - x_j(k+1)] \geq 0$  时,有

$$\Delta s_{ij}(k) = \frac{1}{2} |x_i(k) + x_i(k+1) - x_j(k) - x_j(k+1)|;$$

当  $[x_i(k) - x_j(k)][x_i(k+1) - x_j(k+1)] < 0$  时,有

$$\Delta s_{ij}(k) = \frac{1}{2} \frac{[x_i(k) - x_j(k)]^2 + [x_i(k+1) - x_j(k+1)]^2}{|x_i(k) - x_j(k) + |x_i(k+1) - x_j(k+1)||}.$$

其中  $k = 1, 2, \dots, n-1$ .

计算方法与命题 1 类似,证明略.

**定义 4** 设有数据序列  $X_i, X_j$ , 其中  $i, j$  为系统标号,面积和面积差分别为  $s_i(k), s_j(k), \Delta s_{ij}(k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n-1$ ,则称

$$\Delta s_{ij}^*(k) = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta s_{ij}(k)}{s_i(k)} + \frac{\Delta s_{ij}(k)}{s_j(k)} \right) \quad (3)$$

为两数据序列的相对面积,其中  $s_i(k) \neq 0, s_j(k) \neq 0$ .

这里的相对面积并不是折线间所夹的实际面积,而是经过“量纲” $s_i(k)$  与  $s_j(k)$  处理后的面积,目的是使结果具有绝对的可比性,不受数量级的影响.

在传统的灰色关联模型中,关联计算公式一般采用  $f(x) = \frac{1}{1+x}$  或者  $f(x) = \frac{a}{a+x}$  的形式,其在正半轴的下降速率较慢,因此使得结果的辨析性较差,经常出现多个结果之间差距很小的情况,降低了模型的质量.因此本文考虑用  $f(x) = e^{-x}$  的形式构建新型接近关联模型,如图 1 所示.  $e^{-x}$  下降速度明显快于  $\frac{1}{1+x}$ ,保证了结果的辨析程度.

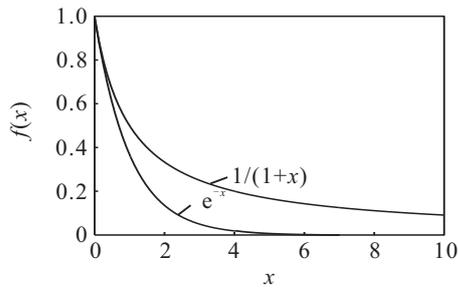


图1 两类公式下降速度的对比

**定义5** 设有数据序列  $X_i, X_j$ , 它们之间的相对面积分别为  $\Delta s_{ij}^*(k), k = 1, 2, \dots, n-1$ , 则称

$$\gamma_{ij}(k) = \exp(-\Delta s_{ij}^*(k)) \quad (4)$$

为数据序列  $X_i$  与  $X_j$  的接近关联系数.

**性质1** 接近关联系数与两数据序列对应线段间的相对位置和距离有关, 与其变化速率无关.

**证明** 由接近关联系数公式可知, 其中只含有面积和面积差, 而这些积分结果仅与线段在空间中的位置有关, 体现线段的拟合程度.  $\square$

**性质2** 当且仅当两序列对应线段完全重合时, 接近关联系数为1.

**证明** 当对应线段完全重合时,  $\Delta s_{ij}^*(k) = 0$ , 所以  $\gamma_{ij}(k) = e^0 = 1$ , 同时  $\gamma_{ij}(k) = 1$ , 则必然  $\Delta s_{ij}^*(k) = 0, \Delta s_{ij}(k) = 0$ , 得出两线段完全重合.  $\square$

**性质3** 接近关联系数  $0 < \gamma_{ij}(k) \leq 1$ .

**证明**  $\Delta s_{ij}(k) \geq 0, s_i(k) \geq 0, s_j(k) \geq 0$ , 所以由接近关联系数公式可得

$$\Delta s_{ij}^*(k) = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta s_{ij}(k)}{s_i(k)} + \frac{\Delta s_{ij}(k)}{s_j(k)} \right) \geq 0.$$

因为  $\gamma_{ij}(k) = \exp(-\Delta s_{ij}^*(k))$ , 所以  $\gamma_{ij}(k) \leq 1$ . 又由指数函数的恒正性质, 证得  $0 < \gamma_{ij}(k) \leq 1$ .  $\square$

**性质4** 线段数量级不变, 当两线段拟合程度越高时, 接近关联系数越趋近于1, 反之越趋近于0.

**证明** 因为数量级不变, 所以  $s_i(k)$  与  $s_j(k)$  恒定, 当拟合程度越高时,  $\Delta s_{ij}(k)$  趋近于0,

$$\Delta s_{ij}^*(k) = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta s_{ij}(k)}{s_i(k)} + \frac{\Delta s_{ij}(k)}{s_j(k)} \right)$$

趋近于0,  $\gamma_{ij}(k)$  趋近于1, 反之  $\Delta s_{ij}^*(k)$  趋近于正无穷, 接近关联系数越趋近于0.  $\square$

**定义6** 设有数据序列  $X_i, X_j$ , 接近关联系数为  $\gamma_{ij}(k), \omega_k (k = 1, 2, \dots, n-1)$  为权重, 其中  $\sum_{k=1}^{n-1} \omega_k = 1$ , 则称

$$\Upsilon_{ij} = \sum_{k=1}^{n-1} \omega_k \gamma_{ij}(k) \quad (5)$$

为数据序列  $X_i$  与  $X_j$  的灰色接近关联度.

当以上定义为平均权重时, 式(5)可简化为

$$\Upsilon_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} \gamma_{ij}(k). \quad (6)$$

**性质5** 灰色接近性关联度  $0 < \Upsilon_{ij} \leq 1$ , 具有规范性.

**证明** 因为灰色接近性关联度是接近关联系数的均值, 所以根据性质3, 性质5显然得证.  $\square$

**性质6** 灰色接近性关联度模型满足对称性和接近性.

**证明** 对称性: 计算接近关联系数时等价考虑了两序列的数量级, 因此不存在参考序列与被参考序列,  $\Upsilon_{ij} = \Upsilon_{ji}$ ; 接近性: 可由性质4推出.  $\square$

通过对接近关联系数和灰色关联度的总结, 证明了新型灰色接近关联模型具有良好的性质, 满足了灰色关联四公理中的规范性、接近性, 将整体性和偶对称性推升为绝对可比性和对称性. 该模型还具有计算简单、趋势明显和分辨性高的特点.

## 2 基于面板数据的灰色接近关联模型

### 2.1 面板数据的灰色网格空间

**定义7** 设有面板数据序列  $X_i, i$  为系统标号, 则称

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i(1,1) & x_i(1,2) & \cdots & x_i(1,n) \\ x_i(2,1) & x_i(2,2) & \cdots & x_i(2,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i(N,1) & x_i(N,2) & \cdots & x_i(N,n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

为面板数据的矩阵表示, 其中矩阵元素为  $x_i(s,t), s = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, n$ .

面板数据是截面数据与时间序列综合的一种数据类型, 其在单指标序列的基础上增加了一个维度, 因此数据序列与几何图形间的映射关系需要改变. 单指标数据序列映射的基本思想是将相邻点间用直线相连, 基于这种模式进行推广, 将面板数据中元素映射到三维空间, 其中相邻点相连, 构成了空间中的网格结构, 如图2所示.

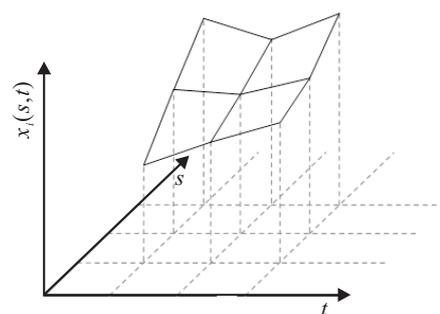


图2 面板数据的空间网格结构

**定义8** 设有面板数据序列  $X_i$ , 在三维空间中映射为网格结构, 则称  $X_i(\lambda)$  与  $X_i(\mu)$  的组合为  $X_i$  在

三维空间中映射的网格图形, 其中

$$\begin{aligned}
 X_i(\lambda) &= \\
 &\{x_i(s, t) + (\lambda - s)(x_i(s + 1, t) - x_i(s, t)) | s = \\
 &1, 2, \dots, N - 1, t = 1, 2, \dots, n, \lambda \in [s, s + 1]\}; \\
 X_i(\mu) &= \\
 &\{x_i(s, t) + (\mu - t)(x_i(s, t + 1) - x_i(s, t)) | s = \\
 &1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, n - 1, \mu \in [t, t + 1]\}.
 \end{aligned}$$

$X_i(\lambda)$  与  $X_i(\mu)$  分别为两个维度的折线集合.

**2.2 模型构建**

面板数据的空间映射是由单指标序列推演而来, 因此具有相似性. 面板数据映射出的网格结构, 同样可以拆分为线段, 考虑了相对应线段间的距离. 考虑到单指标序列灰色接近关联模型的思想 and 步骤, 故对其进行推广, 构建基于面板数据的灰色接近关联模型.

**定义 9** 设有面板数据序列

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i(1, 1) & x_i(1, 2) & \cdots & x_i(1, n) \\ x_i(2, 1) & x_i(2, 2) & \cdots & x_i(2, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i(N, 1) & x_i(N, 2) & \cdots & x_i(N, n) \end{bmatrix},$$

其中  $i$  为系统标号, 则称

$$\begin{aligned}
 s_i^\lambda(s, t) &= \int_s^{s+1} |X_i(\lambda, t)| d\lambda, \\
 s &= 1, 2, \dots, N - 1, t = 1, 2, \dots, n; \\
 s_i^\mu(s, t) &= \int_t^{t+1} |X_i(s, \mu)| d\mu, \\
 s &= 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, n - 1
 \end{aligned} \tag{8}$$

为对象维度和时间维度线段与坐标轴围成的面积, 其中  $s_i^\lambda(s, t) \geq 0, s_i^\mu(s, t) \geq 0$ .

**定义 10** 设有面板数据序列  $X_i, X_j$ , 其中  $i, j$  为系统标号, 则称

$$\begin{aligned}
 \Delta s_{ij}^\lambda(s, t) &= \int_s^{s+1} |X_i(\lambda, t) - X_j(\lambda, t)| d\lambda, \\
 s &= 1, 2, \dots, N - 1, t = 1, 2, \dots, n;
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta s_{ij}^\mu(s, t) &= \int_t^{t+1} |X_i(s, \mu) - X_j(s, \mu)| d\mu, \\
 s &= 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, n - 1
 \end{aligned} \tag{11}$$

为对象维度与时间维度线段间所夹的面积差, 其中  $\Delta s_{ij}^\lambda(s, t) \geq 0, \Delta s_{ij}^\mu(s, t) \geq 0$ .

以上两命题均由两个公式组成, 分别为两个维度面积的计算公式.

**定义 11** 设有面板数据序列  $X_i, X_j$ , 其中  $i, j$  为系统标号, 则称

$$\begin{aligned}
 \Delta s_{ij}^{\lambda*} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta s_{ij}^\lambda(s, t)}{s_i^\lambda(s, t)} + \frac{\Delta s_{ij}^\lambda(s, t)}{s_j^\lambda(s, t)} \right), \\
 s &= 1, 2, \dots, N - 1, t = 1, 2, \dots, n;
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta s_{ij}^{\mu*} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta s_{ij}^\mu(s, t)}{s_i^\mu(s, t)} + \frac{\Delta s_{ij}^\mu(s, t)}{s_j^\mu(s, t)} \right), \\
 s &= 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, n - 1
 \end{aligned} \tag{13}$$

分别为对象维度与时间维度的相对面积.

**定义 12** 设有面板数据序列  $X_i, X_j$ , 则称

$$\begin{aligned}
 \gamma_{ij}^\lambda(s, t) &= \exp(-\Delta s_{ij}^{\lambda*}), \\
 s &= 1, 2, \dots, N - 1, t = 1, 2, \dots, n;
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 \gamma_{ij}^\mu(s, t) &= \exp(-\Delta s_{ij}^{\mu*}), \\
 s &= 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, n - 1
 \end{aligned} \tag{15}$$

分别为对象维度与时间维度的接近关联系数.

**定义 13** 设有面板数据序列  $X_i, X_j$ , 其中  $i, j$  为系统标号, 则称

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\sum_{s=1}^{N-1} \sum_{t=1}^n \gamma_{ij}^\lambda(s, t)}{n(N-1)} + \frac{\sum_{s=1}^N \sum_{t=1}^{n-1} \gamma_{ij}^\mu(s, t)}{N(n-1)} \right) \tag{16}$$

为面板数据灰色接近关联度.

面板数据灰色接近关联模型与单指标接近关联模型本质相同, 具有类似性质, 此处不多赘述.

**3 实例分析**

经济发展水平是地区竞争力的重要体现, 针对我国东部沿海省份的 8 个副省级城市: 南京 ( $X_1$ )、杭州 ( $X_2$ )、广州 ( $X_3$ )、青岛 ( $X_4$ )、宁波 ( $X_5$ )、厦门 ( $X_6$ )、沈阳 ( $X_7$ )、济南 ( $X_8$ ), 对其在“十一五”期间的经济发展水平进行评价. 选取 5 个主要经济指标 (人均地区生产总值, 人均社会固定资产投资, 人均社会消费品零售额, 人均财政收入, 第三产业比重) 在 2006 ~ 2010 年间的的数据构成面板数据. 由于数据较多, 本处不做列举.

选取每个时点下的指标最优值构造理想面板数据矩阵  $X_0$ , 以  $X_0$  为参考序列,  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$  为比较序列进行关联度计算. 因计算对象为面板数据, 并且研究本质为面板数据的相近程度, 故选用面板数据灰色接近关联度模型. 同时, 为了比较模型的改进效果, 对原始数据不进行初始化, 利用传统灰色关联公式  $\frac{1 + |s_0| + |s_i|}{1 + |s_0| + |s_i| + |s_0 - s_i|}$  求解各城市与理想矩阵的灰色关联度. 计算结果如表 1 所示.

**表 1 关联度计算结果及排序**

城市	新型灰色接近关联模型		传统灰色关联模型	
	与理想矩阵关联度	排名	与理想矩阵关联度	排名
南京	0.7419	4	0.854	3
杭州	0.671	5	0.839	5
广州	0.789	2	0.897	2
青岛	0.431	8	0.736	8
宁波	0.7421	3	0.847	4
厦门	0.853	1	0.928	1
沈阳	0.505	6	0.771	6
济南	0.442	7	0.741	7

由表1中的计算结果可以看出, 新型灰色接近关联模型的计算结果与传统灰色关联模型的结果具有十分类似的关联序结果, 仅有南京和宁波逆转. 通过对比原始数据, 发现南京仅在数量级较大的指标中占有优势, 而大部分指标均为宁波领先, 因此可以认为新型灰色接近关联模型的结果更为合理.

新型灰色接近关联度最高与最低相差0.442, 传统灰色关联仅为0.192, 新型灰色接近关联模型具有较好的辨析程度, 优于传统灰色关联模型.

最终得到的评价结果为, 在东部沿海的8个副省级城市中, 厦门的经济发展水平最高, 广州、宁波、南京处于第2梯队, 杭州稍稍落后, 沈阳、济南、青岛处于落后地位, 从而达到了对沿海8市的经济评价目的.

#### 4 结 论

本文分别构建了新型灰色接近关联模型和基于面板数据的灰色接近关联模型, 这两类模型根据连续折线的拟合程度判断关联程度的大小, 主要有以下特点:

1) 改变以往单独通过序列差积分判定接近程度的方法, 构建了序列间的相对面积, 并以此判定两数据序列的拟合程度.

2) 对传统灰色关联理论的积分公式进行改进, 提出先取绝对值后积分的方法, 使得积分结果反映线段间所夹的实际面积, 适用于接近关联模型的计算.

3) 研究了灰色关联公式的不同形式, 通过比较分析, 得出负指数函数形式辨析度大的结论, 并以此构建了两类灰色接近关联度公式.

#### 参考文献(References)

- [1] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 第3版. 北京: 科学出版社, 2004: 62-96.  
(Liu S F, Dang Y G, Fang Z G, et al. Grey system theory and its applications[M]. 3th ed. Beijing: Science Press, 2004: 62-96.)
- [2] 肖永生, 周建江, 刘思峰, 等. 基于灰色系统的雷达目标高分辨距离像识别[J]. 控制与决策, 2011, 26(7): 1036-1040.  
(Xiao Y S, Zhou J J, Liu S F, et al. Radar target recognition by high-resolution range profile based on gray system[J]. Control and Decision, 2011, 26(7): 1036-1040.)
- [3] 钱吴永, 党耀国, 熊萍萍, 等. 基于灰色关联定权的TOPSIS法及其应用[J]. 系统工程, 2008, 27(8): 124-126.  
(Qian W Y, Dang Y G, Xiong P P, et al. Topsis based on grey correlation method and its application[J]. Systems Engineering, 2008, 27(8): 124-126.)
- [4] 胡启洲, 张卫华. 城市公交线网优化的灰色关联度决策模型[J]. 系统工程学报, 2007, 22(6): 607-612.  
(Hu Q Z, Zhang W H. Grey related degree model for the optimization of urban public transport network[J]. J of Systems Engineering, 2007, 22(6): 607-612.)
- [5] 邓聚龙. 灰色理论的关联空间[J]. 模糊数学, 1985, 4(2): 1-10.  
(Deng J L. Grey incidence space in grey systems theory[J]. Fuzzy Mathematics, 1985, 4(2): 1-10.)
- [6] 唐五湘. T型关联度及其算法[J]. 数理统计与管理, 1995, 14(1): 34-37.  
(Tang W X. The concept and the computation method of T's correlation degree[J]. Application of Statistics and Management, 1995, 14(1): 34-37.)
- [7] 党耀国, 刘思峰, 刘斌, 等. 灰色斜率关联度的改进[J]. 中国工程科学, 2004, 6(3): 41-44.  
(Dang Y G, Liu S F, Liu B, et al. Improvement on degree of grey slope incidence[J]. Engineering Science, 2004, 6(3): 41-44.)
- [8] 施红星, 刘思峰, 方志耕, 等. 灰色周期关联度模型及其应用研究[J]. 中国管理科学, 2008, 16(3): 131-136.  
(Shi H X, Liu S F, Fang Z G, et al. The model of grey periodic incidence and their rehabilitation[J]. Chinese J of Management Science, 2008, 16(3): 131-136.)
- [9] 樊治平, 肖四汉. 一类动态多指标决策问题的关联分析法[J]. 系统工程, 1995, 13(1): 23-27.  
(Fan Z P, Xiao S H. A relation grade approach for the dynamic multiple attribute decision making[J]. Systems Engineering, 1995, 13(1): 23-27.)
- [10] 王坚强. 一种新的灰色关联度计算方法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(11): 119-123.  
(Wang J Q. A new computation method of grey interconnect degree and its application[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1997, 17(11): 119-123.)
- [11] 张可, 刘思峰. 灰色关联聚类在面板数据中的应用及扩展[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): 1235-1259.)
- [12] 刘思峰, 谢乃明, Forrest Jeffery. 基于相似性和接近性视角的新型灰色关联分析模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(5): 882-887.  
(Liu S F, Xie N M, Forrest Jeffery. On new models of grey incidence analysis based on visual angle of similarity and nearness[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30(5): 882-887.)

(责任编辑: 孙艺红)