文章编号: 1674-7070(2012)03-0279-06

新型变权弱化缓冲算子的构造

顾红[1]　姚天祥[2]

摘要

根据灰色系统理论中的新信息优先利用原则，在灰色系统缓冲算子三公理体系下构造了新型变权弱化缓冲算子，研究了缓冲算子调节度与可变权重之间的关系.变权缓冲算子有效解决了由于传统缓冲算子不能实现作用强度的微调而导致的缓冲作用效果过强或过弱的问题.最后，通过实例说明了变权缓冲算子在控制作用强度方面的灵活性.

关键词

缓冲算子; 弱化缓冲算子; 灰色系统; 调节度

中图分类号 N941.5
文献标志码 A

收稿日期 2010-05-28
资助项目 国家自然科学基金(71171116); 教育部人文社会科学研究青年基金(09YJC630129); 江苏省高校哲学社会科学基金(09SJD630059)

作者简介

顾红，女，硕士生，研究方向为灰色系统理论.guhong19890610@163.com

姚天祥(通信作者)，男，博士，副研究员，研究方向为灰色系统理论.ytxnj@163.com

1 同济大学 经济与管理学院，上海，200092
2 南京信息工程大学 经济管理学院，南京，210044

0 引言

对于冲击扰动系统预测，在选择模型之前，无论是对实验数据还是对统计数据，必须要对所得的数据结果进行分析，否则模型选择理论将失去其应有的功效，就会产生定量预测结果与定性分析结论不符合的状况[1].因此，如何排除外界诸多冲击因素的干扰，还原系统行为数据真实面目，是非常具有研究价值的问题.缓冲算子作为解决由于冲击扰动系统的大量存在而导致定量预测结果与直观的定性分析的结论不符现象的有效途径之一，自从产生以来已经在许多领域得到了广泛的应用.近年来，有关缓冲算子的研究已经取得了丰硕的成果.刘思峰教授在20世纪80年代提出了缓冲算子的概念和定理，并于90年代在文献[2]中首先构建了缓冲算子的三公理系统.文献[1]将变权的思想引入缓冲算子的构造中，定义了缓冲算子调节度来反映缓冲算子对原始序列的作用强度，分别构造了变权弱化缓冲算子和变权强化缓冲算子，研究了缓冲算子调节度与可变权重之间的关系，并进一步完善了缓冲算子的公理体系.文献[3]构造了新的变权缓冲算子并利用遗传算法探讨了缓冲算子的优化问题.文献[4]构造了几何变权弱化缓冲算子和几何变权强化缓冲算子，并利用遗传算法探讨了该类缓冲算子的优化问题.

本文构造了4类新型变权弱化缓冲算子，研究了缓冲算子调节度与可变权重之间的关系，通过反复验证得出调节度与可变权重同方向变化，并通过实例说明变权缓冲算子比传统的缓冲算子在控制缓冲算子的作用强度方面具有更好的可控性和灵活性.

1 变权弱化缓冲算子的构造

根据文献[2]中有关缓冲算子的基本概念，构造4类变权缓冲算子.

定理1 设 $X=(x(1),x(2),\cdots,x(n))$ 为非负的系统行为数据序列，且 $x(k)>0(k=1,2,\cdots,n)$，令 $XD_1=(x(1)d_1,x(2)d_1,\cdots,x(n)d_1)$，

$$x(k)d_1=\frac{\lambda x(k)+x(n)}{\lambda+1}. \tag{1}$$

其中: λ 为可变权重，$0<\lambda<1$; $k=1,2,\cdots,n$.则当 X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时，D_1 皆为弱化缓冲算子.

证明 容易验证

$$x(n)d_1 = \frac{\lambda x(n) + x(n)}{\lambda + 1} = x(n).$$

所以,D_1 满足缓冲算子三公理,因而 D_1 为缓冲算子.

1) 当 X 为单调增长序列时,因为

$$x(k)d_1 = \frac{\lambda x(k) + x(n)}{\lambda + 1} \geqslant \frac{\lambda x(k) + x(k)}{\lambda + 1} = x(k),$$

则 $x(k)d_1 \geqslant x(k)$,即当 X 为单调增长序列时,D_1 为弱化缓冲算子.

2) 同理可证:当 X 为单调衰减序列时,D_1 为弱化缓冲算子.

3) 当 X 为振荡序列时,设

$$\begin{cases} x(l) = \max\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}, \\ x(h) = \min\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}. \end{cases}$$

由于 $x(l)d_1 = \dfrac{\lambda x(l) + x(n)}{\lambda + 1} \leqslant \dfrac{\lambda x(l) + x(l)}{\lambda + 1} = x(l)$,所以 $x(l)d_1 \leqslant x(l)$.

同理可证 $x(h)d_1 \geqslant x(h)$.

故 X 为振荡序列时,D_1 为弱化缓冲算子.

定理2 设 $X = (x(1),x(2),\cdots,x(n))$ 为非负的系统行为数据序列,且 $x(k) > 0(k = 1,2,\cdots,n)$,令 $XD_2 = (x(1)d_2,x(2)d_2,\cdots,x(n)d_2)$,则

$$x(k)d_2 = \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}}. \tag{2}$$

其中:λ 为可变权重,$0 < \lambda < 1$;$k = 1,2,\cdots,n$. 则当 X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时,D_2 皆为弱化缓冲算子.

证明 容易验证

$$x(n)d_2 = \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}} = \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(n)^{\lambda}} = x(n).$$

所以,D_2 满足缓冲算子三公理,因而 D_2 为缓冲算子.

1) 当 X 为单调增长序列时,因为

$$x(k)d_2 = \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}} \geqslant \frac{x(k)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}} = x(k),$$

则 $x(k)d_2 \geqslant x(k)$,即当 X 为单调增长序列时,D_2 为弱化缓冲算子.

2) 同理可证:当 X 为单调衰减序列时,D_2 为弱化缓冲算子.

3) 当 X 为振荡序列时,设

$$\begin{cases} x(l) = \max\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}, \\ x(h) = \min\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}. \end{cases}$$

由于 $x(l)d_2 = \dfrac{x(n)^{1+\lambda}}{x(l)^{\lambda}} \leqslant \dfrac{x(l)^{1+\lambda}}{x(l)^{\lambda}} = x(l)$,所以 $x(l)d_2 \leqslant x(l)$.

同理可证 $x(h)d_2 \geqslant x(h)$.

故 X 为振荡序列时,D_2 为弱化缓冲算子.

定理3 设 $X = (x(1),x(2),\cdots,x(n))$ 为非负的系统行为数据序列,且 $x(k) > 0(k = 1,2,\cdots,n)$,令 $XD_3 = (x(1)d_3,x(2)d_3,\cdots,x(n)d_3)$,

$$x(k)d_3 = \lambda x(n) + \left[(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n} x(i) \Big/ (n-k+1)\right]. \tag{3}$$

其中:λ 为可变权重,$0 < \lambda < 1$;$k = 1,2,\cdots,n$. 则当 X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时,D_3 皆为弱化缓冲算子.

证明 容易验证

$$x(n)d_3 = \lambda x(n) + \left[(1-\lambda)\sum_{i=n}^{n} x(i) \Big/ (n-k+1)\right] = x(n).$$

所以,D_3 满足缓冲算子三公理,因而 D_3 为缓冲算子.

1) 当 X 为单调增长序列时,因为

$$x(k)d_3 = \lambda x(n) + \left[(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n} x(i) \Big/ (n-k+1)\right] \geqslant \frac{(n-k+1)(1-\lambda)x(k) + \lambda(n-k+1)x(n)}{n-k+1} = x(k),$$

则 $x(k)d_3 \geqslant x(k)$,即当 X 为单调增长序列时,D_3 为弱化缓冲算子.

2) 同理可证:当 X 为单调衰减序列时,D_3 为弱化缓冲算子.

3) 当 X 为振荡序列时 设

$$\begin{cases} x(l) = \max\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}, \\ x(h) = \min\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}. \end{cases}$$

由于

$$x(l)d_3 = \lambda x(n) + \left[(1-\lambda)\sum_{i=l}^{n} x(i) \Big/ (n-l+1)\right] \leqslant \frac{(n-l+1)(1-\lambda)x(l) + \lambda(n-l+1)x(l)}{n-l+1} = x(l),$$

所以 $x(l)d_3 \leqslant x(l)$.

同理可证 $x(h)d_3 \geqslant x(h)$.

故 X 为振荡序列时,D_3 为弱化缓冲算子.

定理4 设 $X = (x(1),x(2),\cdots,x(n))$ 为非负的系统行为数据序列,各时点的权重向量为 $\omega = (\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n)$,令 $XD_4 = (x(1)d_4,x(2)d_4,\cdots,x(n)d_4)$,

$$x(k)d_4 = \prod_{i=k}^{n} w_i x(i)^{1-\lambda} x(n)^{(n-k+1)\lambda} \Big/ \prod_{i=k}^{n} w_i. \tag{4}$$

其中:λ 为可变权重,$0 < \lambda < 1$;$k = 1,2,\cdots,n$. 则当

X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时,D_4 皆为弱化缓冲算子.

证明 容易验证

$$x(n)d_4 = \prod_{i=n}^{n} w_i x(i)^{1-\lambda} x(n)^{(n-k+1)\lambda} \Big/ \prod_{i=n}^{n} w_i = x(n).$$

所以,D_4 满足缓冲算子三公理,因而 D_4 为缓冲算子.

1) 当 X 为单调增长序列时,因为

$$x(k)d_4 = \prod_{i=k}^{n} w_i x(i)^{1-\lambda} x(n)^{(n-k+1)\lambda} \Big/ \prod_{i=k}^{n} w_i \geqslant$$
$$w_k x(k)^{1-\lambda} x(n)^{\lambda} \times w_{k+1} x(k)^{1-\lambda} x(n)^{\lambda} \times \cdots \times$$
$$w_n x(k)^{1-\lambda} \times x(n)^{\lambda} \Big/ \prod_{i=k}^{n} w_i \geqslant$$
$$w_k x(k)^{1-\lambda} x(k)^{\lambda} \times w_{k+1} x(k)^{1-\lambda} x(k)^{\lambda} \times \cdots \times$$
$$w_n x(k)^{1-\lambda} \times x(k)^{\lambda} \Big/ \prod_{i=k}^{n} w_i = x(k),$$

则 $x(k)d_4 \geqslant x(k)$,即当 X 为单调增长序列时,D_4 为弱化缓冲算子.

2) 同理可证:当 X 为单调衰减序列时,D_4 为弱化缓冲算子.

3) 当 X 为振荡序列时,设

$$\begin{cases} x(l) = \max\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}, \\ x(h) = \min\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\}, \end{cases}$$

由于

$$x(l)d_4 = \prod_{i=l}^{n} w_i x(i)^{1-\lambda} x(n)^{(n-l+1)\lambda} \Big/ \prod_{i=l}^{n} w_i =$$
$$\Big[w_l x(l)^{1-\lambda} \times x(n)^{\lambda} + w_{l+1} x(l+1)^{1-\lambda} \times x(n)^{\lambda} +$$
$$\cdots + w_n x(n)^{1-\lambda} \times x(n)^{\lambda}\Big] \Big/ \prod_{i=l}^{n} w_i \leqslant$$
$$\Big[w_l x(l)^{1-\lambda} \times x(l)^{\lambda} + w_{l+1} x(l)^{1-\lambda} \times x(l)^{\lambda} +$$
$$\cdots + w_n x(l)^{1-\lambda} \times x(l)^{\lambda}\Big] \Big/ \prod_{i=l}^{n} w_i = x(l),$$

所以 $x(l)d_4 \leqslant x(l)$.

同理可证 $x(h)d_4 \geqslant x(h)$.

故 X 为振荡序列时,D_4 为弱化缓冲算子.

2 变权弱化缓冲算子的作用强度

定义 1[1] 设系统行为数据序列为 $X = (x(1), x(2), \cdots, x(n))$,令 $r(k) = \dfrac{x(n) - x(k)}{n - k + 1}$,$k = 1,2,\cdots,n$,称 $r(k)$ 为数据序列 X 中 $r(k)$ 到 $x(n)$ 的平均变化率. 对于单调增长序列 $r(k) > 0$,$r(k)$ 为 X 中从 $x(k)$ 到 $x(n)$ 的平均增长率;对于单调衰减序列,$r(k) < 0$,$r(k)$ 为 X 中从 $x(k)$ 到 $x(n)$ 的平均衰减率.

定义 2[1] 设系统行为数据序列为 $X = (x(1), x(2), \cdots, x(n))$,$r(k)$ 为数据序列 X 中 $x(k)$ 到 $x(n)$ 的平均变化率,D 为作用于 X 的缓冲算子,X 经缓冲算子 D 作用后所得数据序列为 $XD = (x(1)d, x(2)d, \cdots, x(n)d)$,则称

$$\delta(k) = \left|\frac{r(k) - r(k)d}{r(k)}\right|$$

为缓冲算子 D 在 k 点的调节度.

$\delta(k)$ 反映了缓冲算子对原始序列的作用强度,不同的缓冲算子对序列的作用强度是不同的. 本文通过可变权重来调整缓冲算子对原始序列的作用强度[3]. 下面通过定理 5—8 来说明调节度与可变权重之间的关系.

定理 5 变权弱化缓冲算子 D_1 在各点的调节度为常数,即 $\delta_1(k) = 1/(\lambda + 1)$.

证明 由于 $r(k)d_1 - r(k) = \dfrac{x(k) - x(k)d_1}{n - k + 1} = \dfrac{x(k) - x(n)}{(n - k + 1)(\lambda + 1)}$,则有

$$\delta_1(k) = \left|\frac{r(k) - r(k)d_1}{r(k)}\right| = \frac{1}{\lambda + 1}. \quad (5)$$

其中:λ 为可变权重,$0 < \lambda < 1$;$k = 1,2,\cdots,n-1$.

定理 6 变权弱化缓冲算子 D_2 的调节度 $\delta_2(k)$ 与可变权重 λ 的取值同方向变化,且

$$\delta_2(k) = -\frac{1}{x(n) - x(k)}\left[x(k) - \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}}\right]. \quad (6)$$

其中:λ 为可变权重,$0 < \lambda < 1$;$x(n) \neq x(k)$;$k = 1, 2, \cdots, n-1$.

证明 由于

$$r(k)d_2 - r(k) = \frac{1}{n - k + 1}\left[x(k) - \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}}\right],$$

则有

$$\delta_2(k) = \left|\frac{1}{n - k + 1}\left[x(k) - \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}}\right] \times \frac{1}{r(k)}\right| = \left|\frac{1}{x(n) - x(k)}\left[x(k) - \frac{x(n)^{1+\lambda}}{x(k)^{\lambda}}\right]\right|.$$

又由于 $1/(x(n) - x(k))$ 符号为正,但是 $x(k) - x(n)^{1+\lambda}/x(k)^{\lambda}$ 的符号为负,因此可以去掉绝对值,则 $\delta_2(k)$ 成立.

进一步计算得

$$\frac{\mathrm{d}\delta_2(k)}{\mathrm{d}\lambda} = x(n)^{1+\lambda} \ln\frac{x(n)}{x(k)} \Big/ \left((x(n) - x(k))x(k)^{\lambda}\right) > 0.$$

由此可见,变权弱化缓冲算子 D_2 对序列的调节度 $\delta_2(k)$ 与可变权重 λ 同方向变化.

定理7 变权弱化缓冲算子 D_3 的调节度 $\delta_3(k)$ 与可变权重 λ 的取值同方向变化,且

$$\delta_3(k) = -\frac{1}{x(n)-x(k)}\left[x(k)-\frac{(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n}x(i)}{n-k+1}-\lambda x(n)\right]. \quad (7)$$

其中:λ 为可变权重,$0<\lambda<1$;$x(n)\neq x(k)$;$k=1,2,\cdots,n-1$.

证明 由于

$$r(k)d_3-r(k)=\frac{1}{n-k+1}[x(k)-x(k)d_3]=\frac{1}{n-k+1}\left[x(k)-\frac{(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n}x(i)}{n-k+1}-\lambda x(n)\right].$$

则有

$$\delta_3(k)=\left|\frac{1}{n-k+1}\left[x(k)-\frac{(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n}x(i)}{n-k+1}-\lambda x(n)\right]\times\frac{1}{r(k)}\right|=\left|\frac{1}{x(n)-x(k)}\left[x(k)-\frac{(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n}x(i)}{n-k+1}-\lambda x(n)\right]\right|.$$

又由于 $1/(x(n)-x(k))$ 符号为正,而 $x(k)-[(1-\lambda)\sum_{i=k}^{n}x(i)/(n-k+1)]-\lambda x(n)$ 符号为负,因此可以去掉绝对值符号,则 $\delta_3(k)$ 成立.

进一步计算得

$$\frac{\mathrm{d}\delta_3(k)}{\mathrm{d}\lambda}=-\frac{1}{x(n)-x(k)}\left[\left(\sum_{i=k}^{n}x(i)/(n-k+1)\right)-x(n)\right]>0.$$

由此可见,变权弱化缓冲算子 D_3 对序列的调节度 $\delta_3(k)$ 与可变权重 λ 同方向变化.

定理8 变权弱化缓冲算子 D_4 的调节度

$$\delta_4(k)=-\frac{1}{x(n)-x(k)}\left[x(k)-\frac{\prod_{i=k}^{n}w_ix(i)^{1-\lambda}x(n)^{(n-k+1)\lambda}}{\prod_{i=k}^{n}w_i}\right]. \quad (8)$$

其中:λ 为可变权重,$0<\lambda<1$;$x(n)\neq x(k)$;$k=1,2,\cdots,n-1$.

证明 由于

$$r(k)d_4-r(k)=\frac{1}{n-k+1}[x(k)-x(k)d_4]=\frac{1}{n-k+1}\left[x(k)-\frac{\prod_{i=k}^{n}w_ix(i)^{1-\lambda}x(n)^{(n-k+1)\lambda}}{\prod_{i=k}^{n}w_i}\right],$$

则有

$$\delta_4(k)=\left|\frac{1}{n-k+1}\left[x(k)-\frac{\prod_{i=k}^{n}w_ix(i)^{1-\lambda}x(n)^{(n-k+1)\lambda}}{\prod_{i=k}^{n}w_i}\right]\times\frac{1}{r(k)}\right|=\left|\frac{1}{x(n)-x(k)}\left[x(k)-\frac{\prod_{i=k}^{n}w_ix(i)^{1-\lambda}x(n)^{(n-k+1)\lambda}}{\prod_{i=k}^{n}w_i}\right]\right|.$$

又由于 $1/(x(n)-x(k))$ 符号为正,而 $x(k)-\prod_{i=k}^{n}w_ix(i)^{1-\lambda}x(n)^{(n-k+1)\lambda}\Big/\prod_{i=k}^{n}w_i$ 符号为负,因此可以去掉绝对值符号,则 $\delta_4(k)$ 成立.

进一步计算得

$$\frac{\mathrm{d}\delta_4(k)}{d\lambda}=\frac{-\prod_{i=k}^{n}\omega_ix(i)^{1-\lambda}\ln x(i)\times x(n)^{(n-k+1)\lambda}}{(x(n)-x(k))\sum_{i=k}^{n}\omega_i}+\frac{(n-k+1)\prod_{i=k}^{n}\omega_ix(i)^{1-\lambda}x(n)^{(n-k+1)\lambda}\ln x(n)}{(x(n)-x(k))\sum_{i=k}^{n}\omega_i}>0.$$

由此可见,变权弱化缓冲算子 D_4 对序列的调节度 $\delta_4(k)$ 与可变权重 λ 同方向变化.

由定理6—8可知,本文构造的变权弱化缓冲算子序列的调节度与可变权重同方向变化.

3 应用举例

下面验证本文变权弱化缓冲算子在GM(1,1)预测过程中的作用.选取1996—2007年江苏省互联网用户数[5](表1)作为原始数据序列.

通过计算可知1996—2007年间江苏省互联网用户数的年增长率分别为678%,290%,318%,528%,79%,24.5%,15.1%,5%,-6%,28.6%,16.3%.以上增长率的变化很容易看出系统行为序列前一部分增长过快,而后一部分增长过慢,但整体还是一个单调增长序列.如果直接对其建模是不可取的,预测的结果会被冲击扰动系统所干扰,导致预测不精确.

表 1　1996—2007 年江苏省互联网用户数

Table 1　Internet users in Jiangsu Province from 1996 to 2007

年份	互联网用户数/万户	年份	互联网用户数/万户
1996	0.23	2002	395.73
1997	1.79	2003	455.53
1998	6.98	2004	478.14
1999	29.21	2005	449.46
2000	183.31	2006	577.95
2001	328.50	2007	671.90

为了得到令人满意的结果,在对 2007 年的数据进行预测之前,就要先利用弱化缓冲算子 D_1(分别取 $\lambda=0.6,0.7,0.99$)作用于 1996—2006 年的数据弱化其增长趋势,将 2007 年的数据用来验证缓冲算子的预测精度,并与直接对原始数据进行预测所得的预测值进行对比.

1)对原始数据直接进行预测,得 GM(1,1)模型的时间响应式:

$$\hat{x}(k+1)=568.080\,877\mathrm{e}^{0.200\,343k}-567.850\,877,$$

预测出 2007 年江苏省互联网用户数的模拟值为 934 万户.

2)取 $\lambda=0.6$,以 $x(k)d_1=\dfrac{\lambda x(k)+x(n)}{\lambda+1}$ 作用在 2000—2006 年的原始数据上得

$$XD_1=\begin{pmatrix}361,362,364,372,430,484,510,\\532,541,530,578\end{pmatrix},$$

得 GM(1,1)模型的时间响应式为

$$\hat{x}(k+1)=6\,591.867\,476\mathrm{e}^{0.053\,868k}-6\,230.562\,476.$$

3)取 $\lambda=0.7$,以 $x(k)d_1=\dfrac{\lambda x(k)+x(n)}{\lambda+1}$ 作用在 2000—2006 年的原始数据上得

$$XD_1=\begin{pmatrix}340,341,343,352,415,475,503,\\528,537,525,578\end{pmatrix},$$

得 GM(1,1)模型的时间响应式为

$$\hat{x}(k+1)=5\,561.086\,554\mathrm{e}^{0.060\,287k}-5\,221.021\,26.$$

4)取 $\lambda=0.99$,以 $x(k)d_1=\dfrac{\lambda x(k)+x(n)}{\lambda+1}$ 作用在 2000—2006 年的原始数据上得

$$XD_1=\begin{pmatrix}291,291,294,305,382,454,487,\\517,528,514,578\end{pmatrix},$$

得 GM(1,1)模型的时间响应式为

$$\hat{x}(k+1)=3\,817.823\,254\mathrm{e}^{0.076\,199k}-3\,527.281\,696.$$

表 2 给出了预测值及其误差.

表 2　预测误差对比

Table 2　Comparison between the prediction errors

可变权重	2007 年预测值/万户	误差/%
$\lambda=0$	934	39.1
$\lambda=0.60$	625	6.9
$\lambda=0.70$	631	6.0
$\lambda=0.99$	648	3.7

由表 2 可以看出,取 $\lambda=0$ 时的预测值与真实值之间的误差高达 39%,而使用变权弱化算子作用于原始数据而建模预测的预测值与真实值之间的误差相对较小,当 $\lambda=0.6$ 时,预测值与真实值之间的误差为 6.9%,当 $\lambda=0.7$ 时,预测值与真实值之间的误差为 6.0%,而当 $\lambda=0.99$ 时,预测值与真实值之间的误差为 3.7%,可见,可变权重 λ 取值 0.99 较为合适.

4　结语

本文将变权的思想引入缓冲算子的构造,分别构造了变权弱化缓冲算子 D_1,D_2,D_3,D_4,并通过调整可变权重的大小来控制缓冲算子的作用强度,还进一步给出了可变权重的优化方法. 在此基础上利用弱化缓冲算子 D_1 和最优背景 GM(1,1)模型的方法,对 1996—2007 年江苏省互联网用户数进行预测分析. 结果表明:利用变权缓冲算子作用在原始数据上,所得的预测结果与真实值之间的误差远远小于直接利用原始数据进行预测的结果. 变权缓冲算子可以根据定性分析的结果,通过选取不同的权重来控制缓冲算子的作用强度,因此,变权缓冲算子比传统的缓冲算子在控制缓冲算子的作用强度方面具有更好的可控性和灵活性,因而能有效解决在建模预测过程中出现的定量预测结果与定性分析结论不符的问题.

参考文献
References

[1]　王正新,党耀国,刘思峰. 变权缓冲算子及缓冲算子公理的补充[J]. 系统工程,2009,27(1):113-117
WANG Zhengxin,DANG Yaoguo,LIU Sifeng. Buffer operators with variable weights and complement of axioms[J]. System Engineering,2009,27(1):113-117

[2]　Liu S F. The three axioms of buffer operator and their application[J]. Journal of Grey System,1991,3(1):39-48

[3]　王正新,党耀国,刘思峰. 变权缓冲算子及其作用强度的研究[J]. 控制与决策,2009,24(8):1218-1222
WANG Zhengxin,DANG Yaoguo,LIU Sifeng. Study on

buffer operators with variable weights and their effect strength to original sequence [J]. Control and Decision，2009，24(8): 1218-1222

[4] 张庆，刘思峰，王正新，等. 几何变权缓冲算子及其作用强度研究 [J]. 系统工程，2009，27(10): 113-117
ZHANG Qing，LIU Sifeng，WANG Zhengxin，et al. Geometry buffer operators with variable weights and the intensity of their influence on original sequence [J]. Systems Engineering，2009，27(10): 113-117

[5] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社，2008
Statistics Information Network of Jiangsus. Jiangsu statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press，2008

Structure study of new weakening buffer operators with variable weights

GU Hong[1] YAO Tianxiang[2]

1 School of Economics and Management，Tongji University，Shanghai 200092

2 School of Economics and Management，Nanjing University of Information Science & Technology，Nanjing 210044

Abstract According to the three axioms in the buffer operator theory，several new weakening buffer operators with variable weights were constructed，and the relationship between buffer operator regulation degree and variable weight were studied in this paper. The new operators solve the problem of unsatisfactory buffer effect due to the lack of fine tuning of effect intensity. An example was given to show the flexibility and validity of the new operators in controlling strenghth.

Key words buffer operator; weakening buffer operator; grey system; regulation degree