第 24 卷 第 1 期 控 制 与 决 策 2009 年 1 月
Vol. 24 No. 1 Control and Decision Jan. 2009

文章编号: 1001-0920(2009)01-0044-05

基于一类新的强化缓冲算子的 GM(1,1)预测精度研究

崔 杰[1,2], 党耀国[1]
(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 淮阴工学院 经济与管理学院, 江苏 淮安 223001)

摘 要: 根据灰色系统理论中新息优先利用原理,在对缓冲算子和已有强化缓冲算子研究的基础上,构造了一类新的强化缓冲算子,有效解决了冲击扰动数据序列在建模预测过程中常常出现的定量预测结果与定性分析结论不符的问题. 实例分析结果表明,这类新的强化缓冲算子能显著提高 GM(1,1)模型的预测精度.

关键词: 强化缓冲算子; 算术平均强化算子; 几何平均强化算子; GM(1,1)
中图分类号: N94 **文献标识码**: A

Research of precision of prediction of GM(1,1) based-on a kind of novel strengthening buffer operators

CUI Jie[1,2], *DANG Yao-guo*[1]
(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. College of Economics and Management, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223001, China. Correspondent: CUI Jie, E-mail: nuaacui2008@163.com)

Abstract: According to the theory of prior using of new information in grey system theories, based on the present theories of buffer operators and some already existed strengthening buffer operators, some new strengthening buffer operators are established. The problem that there are some contradictions between quantitative analysis and qualitative analysis in pretreatment for vibration data sequences is resolved effectively. An example shows that the new strengthening buffer operators can increase the forecast precision of GM(1,1) remarkably.

Key words: Strengthening buffer operator; Arithmetic average strengthening operator; Geometry average strengthening operator; GM(1,1)

1 引 言

灰色系统理论是一种以"部分信息已知,部分信息未知"的"小样本"、"贫信息"不确定性系统为研究对象的理论,主要通过对部分已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控[1]. 然而,现实生活中的各种系统的特征数据,往往因受到外界诸多冲击因素的干扰而变得失真. 为了能够正确把握事物的本质规律,必须排除扰动因素的作用,缓冲算子正是为了解决这一问题而产生的. 它通过灰色序列生成,修正数据的随机性,还数据以本来面目,使其呈现应有的规律性,从而把握事物的本质规律,进而能够进行合理预测.

冲击扰动因素对数据序列的干扰一般可分为两类:第 1 类是加快数据的发展趋势或使数据序列的振荡变幅度变大[2-4];第 2 类是减缓数据的发展趋势或使数据序列的振荡变幅度变小. 如何排除外界诸多冲击因素的干扰,还系统特征数据真实面目,是非常具有研究价值的问题之一. 文献[5-11]中,刘思峰提出了缓冲算子的概念,并构造了一种得到较广泛应用的实用缓冲算子. 在文献[6-12]研究基础上,党耀国[13,14]构造了若干个强化缓冲算子和弱化缓冲算子. 综合分析目前的研究文献可以看出,现有的强化缓冲算子可以对受冲击因素干扰的系统特征数据进行强化缓冲,在一定程度上提高了 GM(1,1)模型的预测精度. 但不足之处在于,它们均没有充分地利用原始数据序列的新信息 $x(n)$,因而在一定程度上又影响了 GM(1,1)模型的预测精度.

收稿日期: 2007-11-14; **修回日期**: 2008-04-02.
基金项目: 国家自然科学基金项目(70473037); 江苏省软科学重点项目(BK2006025); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CX08B-039R).
作者简介: 崔杰(1978—),男,江苏淮安人,博士生,从事灰色系统理论、系统工程的研究; 党耀国(1964—),男,河南驻马店人,教授,博士生导师,从事灰色系统理论、区域经济等研究.

本文在上述工作的基础上,针对冲击扰动序列的前一种情况,根据"新息优先利用"原理、不动点原理以及缓冲算子三公理,提出了一种新的强化缓冲算子构造模式

$$x(k)d = \frac{nx(k)}{(n-1)x(k) + x(n)}x(k),$$

并在此基础上构造出一个新的强化缓冲算子群,从而有效地解决了第 1 类系统冲击扰动问题,使得前一部分增长(衰减)过缓,而后一部分增长(衰减)过快的冲击扰动系统数据序列,在建模预测过程中经常出现预测结果与定性分析结论不符合的问题得到了有效的解决,显著地提高了 GM(1,1) 模型的预测精度. 研究结果表明,在该类新的强化缓冲算子中,算术平均强化算子 D_3 的一阶强化预测精度最高.

2　基本概念

定义 1[1]　设 $X = (x(1), x(2), \cdots, x(n))$ 为系统行为数据序列.

1) 若任意 $k = 2, 3, \cdots, n$, $x(k) - x(k-1) > 0$, 则称 X 为单调增长序列;

2) 若 1) 中不等号反过来成立,则称 X 为单调衰减序列;

3) 若存在 $k, k' \in \{2, 3, \cdots, n\}$,有

$$x(k) - x(k-1) > 0,\ x(k') - x(k'-1) < 0,$$

则称 X 为振荡序列. 设

$$M = \max\{x(k) \mid k = 1, 2, \cdots, n\},$$
$$m = \min\{x(k) \mid k = 1, 2, \cdots, n\},$$

则称 $M - m$ 为序列 X 的振幅.

定义 2　设 X 为系统行为数据序列, D 为作用于 X 的算子, X 经过算子 D 作用后所得序列记为

$$XD = (x(1)d, x(2)d, \cdots, x(n)d),$$

称 D 为序列算子,称 XD 为一阶算子作用序列.

序列算子的作用可以多次进行. 相应地,若 D_1, D_2, $\cdots$, D_n 皆为序列算子,则 D_1D_2 为二阶算子,并称

$$XD_1D_2 = (x(1)d_1d_2, x(2)d_1d_2, \cdots, x(n)d_1d_2)$$

为二阶算子作用序列. 同理可得三阶算子作用序列,四阶算子作用序列, $\cdots$, n 阶算子作用序列.

公理 1(不动点公理)[1]　设 X 为系统行为数据序列, D 为作用于 X 的算子,则 D 满足

$$x(n)d = x(n).$$

不动点公理限定在序列算子作用下,系统行为数据序列中的数据 $x(n)$ 保持不变,即运用序列算子对系统行为数据进行调整,将不改变 $x(n)$ 这一即成事实.

公理 2(信息充分利用公理)　系统行为数据序列 X 中的每一个数据 $x(k)$ $(k = 1, 2, \cdots, n)$ 都应充分参与算子作用的全过程.

信息充分利用公理限定,任何序列算子都应以现有序列中的信息为基础进行定义,不允许抛开原始数据另搞一套.

公理 3(解析化公理)　任意的 $x(k)$ $(k = 1, 2, \cdots, n)$ 均可由一个统一的 $x(1), x(2), \cdots, x(n)$ 的初等解析式表达.

公理 3 要求,由系统行为数据系列得到算子作用序列的程序应清晰、规范、统一,且尽可能简化,以便于计算出算子作用序列,并使计算易于实现.

定义 3　称上述 3 个公理为缓冲算子三公理. 满足缓冲算子三公理的序列算子称为缓冲算子;一阶,二阶, $\cdots$, n 阶缓冲算子作用序列称为一阶,二阶, $\cdots$, n 阶缓冲序列.

定义 4　设 X 为原始数据序列, D 为缓冲算子. 当 X 分别为增长序列、衰减序列或振荡序列时:

1) 若缓冲序列 XD 比原始序列 X 的增长速度(或衰减速度)减缓或振幅减小,则称缓冲算子 D 为弱化算子;

2) 若缓冲序列 XD 比原始序列 X 的增长速度(或衰减速度)加快或振幅增大,则称缓冲算子 D 为强化算子.

3　缓冲算子的性质

定理 1[1]

$$X = (x(1), x(2), \cdots, x(n)),$$
$$x(i) > 0,\ i = 1, 2, \cdots, n.$$

1) 设 X 为单调增长序列, XD_1 为其缓冲序列,则有:

① D_1 为弱化算子 $\Leftrightarrow$

$$x(k) \le x(k)d_1,\ k = 1, 2, \cdots, n;$$

② D_1 为强化算子 $\Leftrightarrow$

$$x(k) \ge x(k)d_1,\ k = 1, 2, \cdots, n.$$

即单调增长序列在弱化算子作用下数据膨胀,在强化算子作用下数据萎缩.

2) 设 X 为单调衰减序列, XD 为其缓冲序列,则有:

① D_1 为弱化算子 $\Leftrightarrow$

$$x(k) \ge x(k)d_1,\ k = 1, 2, \cdots, n;$$

② D_1 为强化算子 $\Leftrightarrow$

$$x(k) \le x(k)d_1,\ k = 1, 2, \cdots, n.$$

即单调衰减序列在弱化算子作用下数据萎缩,在强化算子作用下数据膨胀.

3) 设 X 为振荡序列, XD_1 为其缓冲序列,则有:

①若 D_1 为弱化算子,则

$$\max_{1 \le k \le n}\{x(k)\} \ge \max_{1 \le k \le n}\{x(k)d_1\},$$

$$\min_{1\le k\le n}\{x(k)\} \le \min_{1\le k\le n}\{x(k)d_1\};$$

②若 D_1 为强化算子,则

$$\max_{1\le k\le n}\{x(k)\} \le \max_{1\le k\le n}\{x(k)d_1\},$$

$$\min_{1\le k\le n}\{x(k)\} \ge \min_{1\le k\le n}\{x(k)d_1\}.$$

证明略.

4 一类新的强化缓冲算子的构建

定理 2 设系统原始行为数据序列

$$X = (x(1), x(2), \cdots, x(n)),$$
$$x(i) > 0,\ i = 1,2,\cdots,n.$$

令

$$XD_2 = (x(1)d_2, x(2)d_2, \cdots, x(n)d_2),$$

其中

$$x(k)d_2 = \frac{x(k)}{\dfrac{(n-1)x(k)+x(n)}{n}}x(k),$$
$$k = 1,2,\cdots,n.$$

则当 X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时,D_2 皆为强化缓冲算子.

证明 容易验证,D_2 满足缓冲算子三公理,故 D_2 为缓冲算子.

1) 设 X 为单调增长序列,则

$$x(k)d_2 - x(k) =$$
$$\frac{x(k)}{\dfrac{(n-1)x(k)+x(n)}{n}}x(k) - x(k) \le$$
$$\frac{x(k)}{\dfrac{(n-1)x(k)+x(k)}{n}}x(k) - x(k) = 0.$$

因此 $x(k)d_2 \le x(k)$,故 D_2 为强化缓冲算子.

2) 设 X 为单调衰减序列,则

$$x(k)d_2 - x(k) =$$
$$\frac{x(k)}{\dfrac{(n-1)x(k)+x(n)}{n}}x(k) - x(k) \ge$$
$$\frac{x(k)}{\dfrac{(n-1)x(k)+x(k)}{n}}x(k) - x(k) = 0.$$

因此 $x(k)d_2 \ge x(k)$,故 D_2 为强化缓冲算子.

3) X 为振荡序列时,设

$$x(a) = \max\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\},$$
$$x(b) = \min\{x(k) \mid k = 1,2,\cdots,n\},$$
$$a = 1,2,\cdots,n,\ b = 1,2,\cdots,n.$$

则

$$x(a)d_2 = \frac{x(a)}{\dfrac{(n-1)x(a)+x(n)}{n}}x(a),$$

$$x(a)d_2 - x(a) =$$
$$\frac{x(a)}{\dfrac{(n-1)x(a)+x(n)}{n}}x(a) - x(a) \ge$$
$$\frac{x(a)}{\dfrac{(n-1)x(a)+x(a)}{n}}x(a) - x(a) = 0.$$

所以 $x(a)d_2 \ge x(a)$,即

$$\max_{1\le k\le n}\{x(k)\} \le \max_{1\le k\le n}\{x(k)d\}.$$

同理可证

$$\min_{1\le k\le n}\{x(k)\} \ge \min_{1\le k\le n}\{x(k)d\}.$$

故 D_2 为强化缓冲算子. □

推论 1 对于定理 2 中定义的弱化算子 D_2,令

$$XD_2^2 = XD_2D_2 = (x(1)d_2^2, x(2)d_2^2, \cdots, x(n)d_2^2),$$
$$x(k)d_2^2 = \frac{x(k)d_2}{\dfrac{(n-1)x(k)d_2+x(n)}{n}}x(k)d_2,$$
$$k = 1,2,\cdots,n.$$

则 D_2^2 对于单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列,皆为二阶强化算子.

定理 3 设系统原始行为数据序列

$$X = (x(1), x(2), \cdots, x(n)),$$
$$x(i) > 0,\ i = 1,2,\cdots,n.$$

令

$$XD_3 = (x(1)d_3, x(2)d_3, \cdots, x(n)d_3),$$
$$x(k)d_3 =$$
$$(n-k+1)x^2(k)\Big/\Big[\frac{(n-1)x(k)+x(n)}{n} + \frac{(n-1)x(k+1)+x(n)}{n} + \cdots + x(n)\Big] =$$
$$\frac{(n-k+1)x^2(k)}{\sum_{i=k}^{n}\dfrac{(n-1)x(i)+x(n)}{n}}.$$

则当 X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时,D_3 皆为强化缓冲算子.

证明 容易验证 D_3 满足缓冲算子三公理,故 D_3 为缓冲算子.

1) 设 X 为单调增长序列,则

$$x(k)d_3 =$$
$$(n-k+1)x^2(k)\Big/\Big[\frac{(n-1)x(k)+x(n)}{n} + \frac{(n-1)x(k+1)+x(n)}{n} + \cdots + x(k)\Big] \le$$
$$(n-k+1)x^2(k)\Big/\Big[\frac{(n-1)x(k)+x(k)}{n} + \frac{(n-1)x(k)+x(k)}{n} + \cdots + x(k)\Big] = x(k).$$

因此 $x(k)d_3 \le x(k)$,故 D_3 为强化缓冲算子. 这里称

D_3 为平均强化缓冲算子.

2) 设 X 为单调衰减序列,则

$$x(k)d_3=$$
$$(n-k+1)x^2(k)\bigg/\left[\frac{(n-1)x(k)+x(n)}{n}+\frac{(n-1)x(k+1)+x(n)}{n}+\cdots+x(n)\right]\geq$$
$$(n-k+1)x^2(k)\bigg/\left[\frac{(n-1)x(k)+x(k)}{n}+\frac{(n-1)x(k)+x(k)}{n}+\cdots+x(k)\right]=x(k).$$

因此 $x(k)d_3\geq x(k)$,故 D_3 为强化缓冲算子.

3) X 为振荡序列时,设

$$x(a)=\max\{x(k)\mid k=1,2,\cdots,n\},$$
$$x(b)=\min\{x(k)\mid k=1,2,\cdots,n\},$$
$$a=1,2,\cdots,n,\ b=1,2,\cdots,n.$$

则

$$x(a)d_3=$$
$$(n-a+1)x^2(a)\bigg/\left[\frac{(n-1)x(a)+x(n)}{n}+\frac{(n-1)x(a+1)+x(n)}{n}+\cdots+x(n)\right]\geq$$
$$(n-a+1)x^2(a)\bigg/\left[\frac{(n-1)x(a)+x(a)}{n}+\frac{(n-1)x(a)+x(a)}{n}+\cdots+x(a)\right]=x(a).$$

因此 $x(a)d_3\geq x(a)$,即

$$\max_{1\leq k\leq n}\{x(k)\}\leq\max_{1\leq k\leq n}\{x(k)d_3\}.$$

同理可证

$$\min_{1\leq k\leq n}\{x(k)\}\geq\min_{1\leq k\leq n}\{x(k)d_3\}.$$

故 X 为振荡序列时,D_3 为强化缓冲算子.这里称 D_3 为算术平均强化算子. □

推论 2 对于定理 3 中定义的强化算子 D_3,令

$$XD_3^2=XD_3D_3=(x(1)d_3^2,x(2)d_3^2,\cdots,x(n)d_3^2),$$
$$x(k)d_3^2=\frac{(n-k+1)x(k)d_3}{\sum_{i=k}^{n}\frac{(n-1)x(i)d_3+x(n)}{n}}x(k)d_3,$$
$$k=1,2,\cdots,n.$$

则 D_3^2 对于单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列,皆为二阶强化算子.

定理 4 设系统原始行为数据序列

$$X=(x(1),x(2),\cdots,x(n)),$$
$$x(i)>0,\ i=1,2,\cdots,n.$$

令

$$XD_4=(x(1)d_4,x(2)d_4,\cdots,x(n)d_4),$$
$$x(k)d_4=$$
$$x^2(k)\bigg/\left[\frac{(n-1)x(k)+x(n)}{n}\times\frac{(n-1)x(k+1)+x(n)}{n}\cdots x(n)\right]^{\frac{1}{n-k+1}}=$$
$$\frac{x^2(k)}{\left[\prod_{i=k}^{n}\frac{(n-1)x(i)+x(n)}{n}\right]^{\frac{1}{n-k+1}}},$$

则当 X 为单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列时,D_4 皆为强化缓冲算子.

证明 容易验证 D_4 满足缓冲算子三公理,故 D_4 为缓冲算子.

设 X 为单调增长序列,则

$$x(k)d_4=$$
$$x^2(k)\bigg/\left[\frac{(n-1)x(k)+x(n)}{n}\times\frac{(n-1)x(k+1)+x(n)}{n}\cdots x(n)\right]^{\frac{1}{n-k+1}}\leq$$
$$\frac{x^2(k)}{[(x(k))^{n-k+1}]^{\frac{1}{n-k+1}}}=x(k).$$

因此 $x(k)d_4\leq x(k)$,故 D_4 为强化缓冲算子.

同理可证,当 X 为单调衰减序列或振荡序列时,D_4 皆为强化缓冲算子,故称 D_4 为几何平均强化缓冲算子. □

综上可知,本文新构造的所有强化缓冲算子对于单调增长序列、单调衰减序列或振荡序列,均能起到增强增长(衰减)速度或增大振幅的作用.缓冲算子在作用于原始数据序列时,必须满足不动点公理,因此,对于单调增长序列,强化缓冲作用序列的增长速度比原始序列的增长速度加快;同理,对于单调衰减序列或振荡序列,强化缓冲作用序列的衰减速度(或振动幅度)比原始序列的衰减速度(或振动幅度)增强(或增大).利用本文构造的强化缓冲算子,基于新信息优先利用原理,对原始数据序列作用后,能有效消除冲击干扰项对系统的干扰而造成的数据“失真”现象,有效提高模型的预测精度.

5 算例分析

某企业开发出一种新产品,其月销售额如表 1 所示[14].

表 1 新产品的月销售额

月 份	1	2	3	4	5	6	7
销售额/万元	60.8	62.6	65.7	70.4	77.4	86.7	96.8

由表 1 可以计算出该企业新产品各月销售额的增长率分别为 2.96%,4.95%,7.12%,9.94%,12.01%,11.65%.由此可以看出,原始数据序列前半部分增长速度比后半部分增长过缓.通过系统分析发现,因为该企业从 3 月份起采取了系列促销手段,所以从 4 月份起该新产品的月销售额增长率比 1～3 月份有了明显的增长.因此,为了提高 8 月份及

其以后月份的销售额预测精度,需要利用强化缓冲算子对原始数据序列进行强化作用,以消除促销手段这个冲击扰动因素对原始数据的干扰.

下面用前 6 个月的销售额来模拟 7 月份的销售额,并预测 8 月份的销售额. 为了提高 GM(1,1) 模型的预测精度,必须对原始数据序列进行强化. 用强化缓冲算子对原始数据序列进行强化处理,使得预测结果与实际情况更为接近.

以本文构造的一系列新的强化缓冲算子对原始数据进行一阶强化处理,得到的强化数据序列为

$$XD_2 = (56.8, 58.8, 62.4, 67.8, 75.9, 86.7),$$

$$XD_3 = (49.5, 52.3, 56.1, 62.3, 72.3, 86.7),$$

$$XD_4 = (50.7, 52.5, 56.3, 62.4, 72.4, 86.7).$$

依次以上述强化序列建立 GM(1,1) 模型的白化方程如下:

$$\frac{\mathrm{d}x^{(1)}}{\mathrm{d}t} - 0.10064x^{(1)} = 48.306032,$$

$$\frac{\mathrm{d}x^{(1)}}{\mathrm{d}t} - 0.13332x^{(1)} = 39.66575,$$

$$\frac{\mathrm{d}x^{(1)}}{\mathrm{d}t} - 0.13209x^{(1)} = 39.779848.$$

通过计算(计算过程略) 得到一步预测误差的比较结果,如表 2 所示.

表 2 强化前后模型预测精度的比较

模型	强化算子作用	一步预测误差 / %
1	无	4.34
2	XD_2	2.76
3	XD_3	0.55
4	XD_4	0.64

由表 2 可以看出,原始数据经过一阶强化缓冲算子 D_3 作用后,一步预测误差最低,即预测精度最高. 利用一阶强化缓冲算子 D_3 对原始数据作用后的预测模型为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 347.435647\mathrm{e}^{0.133135k} - 297.935647.$$

预测结果为 $\hat{x}(7) = 96.27$, $\hat{x}(8) = 109.98$. 所以,7 月份该企业新产品销售额预测值为 96.27 万元,这与该企业 7 月份实际销售额 96.8 万元基本吻合. 8 月份的销售额预测值为 109.98 万元.

6 结 论

本文在已有研究基础上,构造出一类新的强化缓冲算子,并利用构造的强化算子对具有前半部分增长速度较慢、后半部分增长速度较快特征的原始序列数据与一阶强化后的数据序列分别进行预测精度的比较. 结果表明:1) 强化后的数据序列在预测精度上比用原始数据序列预测精度均有显著提高; 2) 比较 3 个新的强化算子强化后序列预测误差(见表 2) 可以发现,原始数据序列经过 D_2, D_3 和 D_4 一阶强化后, D_3 作用后的数据序列预测误差最低(预测精度最高). 关于这类新的强化缓冲算子的性质是今后进一步研究的重点.

参考文献(References)

[1] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2006: 1-8.
(Liu S F, Dang Y G, Fang Z G. Grey system theory and its application[M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2004: 1-8.)

[2] Deng J L. The grey exponential law of AGO, grey system[M]. Beijing: China Ocean Press, 1988: 31-39.

[3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 10-15.
(Deng J L. A textbook of grey system theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002: 10-15.)

[4] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 26-34.
(Deng J L. The primary methods of grey theory[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2004: 26-34.)

[5] Liu Sifeng, Li Yi. Grey information: Theory and practical applications[M]. London: Springer-Verlag, 2006.

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

[7] 刘思峰. 冲击扰动系统预测陷阱与缓冲算子[J]. 华中理工大学学报, 1997, 25(1): 25-27.
(Liu S F. The trap in the prediction of a shock disturbed system and the buffer operator[J]. J of Huazhong University of Science and Technology, 1997, 25(1): 25-27.)

[8] 刘思峰. 缓冲算子及其应用[J]. 灰色系统理论与实践, 1992, 2(1): 45-50.
(Liu S F. Buffer operator and its application[J]. Theories and Practices of Grey System, 1992, 2(1): 45-50.)

[9] 关新平, 何宴辉, 唐英干, 等. 随机扰动下一类混沌系统的同步[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(2): 212-214.
(Guan X P, He Y H, Tang Y G, et al. Synchronization of chaotic system in the presence of random perturbation[J]. System Engineering and Electronics, 2004, 26(2): 212-214.)

(下转第 54 页)

个连杆均未进入障碍区域,机械臂能够平滑到达目标点,并以最短路径完成给定任务.

5 结　　论

本文提出一种基于状态空间的机械臂轨迹规划方法,定义了机械臂系统的状态空间模型,给出了任务完成的一般理论与方法.任务是否可实现取决于系统是否满足以下条件:1) 目标状态位于可达区域;2) 可达区域内存在起止状态间的连通路径.当任务可完成时,通过搜索可在状态空间得到任务实现的最优解;如果任务无法完成,则分别修改系统配置与约束,在更高维的状态空间确定任务可实现的条件.因此,这种方法给出了任务由不可实现向可实现转化的解决方案,对于任务的设计与规划具有指导意义.

参考文献(References)

[1] Paul R P. Manipulator cartesian path control[J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 702-711.

[2] Lin C S, Chang P R, Luh J Y S. Formulation and optimization of cubic polynomial joint trajectories for industrial robots[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1983, 28(1): 1066-1073.

[3] Dissanayake M W M, Goh C J, Phenthien N. Time optimal trajectories for robotic manipulators[J]. Robotica, 1991, 9(2): 131-138.

[4] Saramago S F P, Junior V S. Optimal trajectory planning of robot manipulators in the presence of moving obstacles[J]. Mechanism and Machine Theory, 2000, 35(8): 1079-1094.

[5] Perez T L. A simple motion-planning algorithm for general robot manipulators[J]. IEEE J of Robotics and Automation, 1987, 3(3): 224-238.

[6] Sun K, Lumelsky V J. Motion planning for three-link robot arm manipulators operating in an unknown three-dimensional environment[C]. Proc of the 30th Conf on Decision and Control. Brighton, 1991: 1019-1026.

[7] Antonelli G, Chiaverini S, Palladino M, et al. Cartesian space motion planning for robots: An industrial implementation[C]. The 4th Int Workshop on Robot Motion and Control. Puszczykowo, 2004: 279-284.

[8] Xu X R, Chen YB. A method for trajectory planning of robot manipulators in cartesian space[C]. Proc of the 3rd World Conf on Intelligent Control and Automation. Hefei, 2000: 1220-1225.

[9] Nilsson N J. Artificial intelligence: A new synthesis[M]. San Francisco: Morgan Kauffmann, 1998.

[10] Zhang KJ, Su J B. RTOS-based software architecture for multisensor fusion system[C]. The 5th Asian Control Conf. Melbourne, 2004: 906-913.

[11] Lin C S, Chang P R, Luh J Y S. Formulation and optimization of cubic polynomial joint trajectories for lndustrial robots[J]. IEEE Tran on Automatic Control, 1983, 28(12): 1066-1073.

(上接第 48 页)

[10] 丁义明,范文涛.离散系统的随机作用随机扰动[J].高校应用数学学报 A 辑,2000,15(3):305-310.
(Ding Y M, Fan W T. Discrete time systems with randomly applied stochastic perturbations[J]. Application Mathematics J of Chinese University Series A, 2000, 15(3): 305-310.)

[11] 刘思峰,党耀国.灰色系统理论及其应用[M].第 2 版.北京:科学出版社,2004:12-20.
(Liu S F, Dang Y G. Grey system theory and its application[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2004: 12-20.)

[12] 谢乃明,刘思峰.一种新的弱化缓冲算子[J].中国管理科学,2003,11(增):46-48.
(Xie N M, Liu S F. A new applicative weakening buffer operator[J]. Chinese J of Management Science, 2003, 11(S): 46-48.)

[13] 党耀国,刘思峰,刘斌,等.关于弱化缓冲算子的研究[J].中国管理科学,2004,12(2):108-111.
(Dang Y G, Liu S F, Liu B, et a1. Study on the weakening buffer operators and researches[J]. Chinese J of Management Science, 2004, 12(2): 108-111.)

[14] 党耀国,刘斌,关叶青.关于强化缓冲算子的研究[J].控制与决策,2005,20(12):1332-1336.
(Dang Y G, Liu B, Guan Y Q. Study on the strengthening buffer operators[J]. Control and Decision, 2005, 20(12): 1332-1336.)