第36卷 第6期
2009年6月
计 算 机 科 学
Computer Science
Vol. 36 No. 6
June 2009

不等权泛组合运算模型研究

付利华[1] 何华灿[2]
(北京工业大学计算机学院 北京 100124)[1] (西北工业大学计算机学院 西安 710072)[2]

摘 要 实际复杂系统中的各因素一般具有不同的权重,针对现有的泛组合运算模型描述的是一种理想的等权情况,给出了两种广义加权算子模型,并据此提出了一种不等权泛组合运算模型,从而可以更准确地处理复杂系统中各因素间关系的不确定性问题。

关键词 泛逻辑,泛组合运算模型,加权算子,不等权泛组合运算模型

中图法分类号 TP18 **文献标识码** A

Studies on Unequal Weights Universal Combinatorial Operation Model

FU Li-hua[1] HE Hua-can[2]
(College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)[1]
(College of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)[2]

Abstract In practical complex system, every factor is generally with unequal weight. But the existing universal combinatorial operation only discusses an ideal state that every factor is with equal weight. This paper gave two kinds of general weighted operators. Based on the operators given, an unequal weights universal combinatorial operation model was proposed.

Keywords Universal logic, Universal combinatorial operation model, Weighted operator, Unequal weights universal combinatorial operation model

1 引言

在复杂系统的各因素之间往往存在着错综复杂的关系,或是相互冲突,或是相互协调。并且在系统的运行过程中,某些因素间的关系还会在相互冲突和相互协调之间动态变化。为了合理地处理这类既有冲突又有协调的关系,人们提出了许多不同的合成算子(Aggregation Operators),它们大部分是各种各样的与算子、或算子或是平均算子,这些算子被广泛地使用在多属性决策系统之中,取得了一定的应用效果。

但是,由于与算子、或算子和平均算子分别具有以下的属性:

性质1 设映射 $T(x,y)$,$S(x,y)$,$M(x,y)$:$[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$分别是与算子、或算子和平均算子,则有

$$0\leqslant T(x,y)\leqslant\min(x,y) \tag{1}$$

$$\max(x,y)\leqslant S(x,y)\leqslant 1 \tag{2}$$

$$\min(x,y)\leqslant M(x,y)\leqslant\max(x,y) \tag{3}$$

即与运算的结果不大于最小值,或运算的结果不小于最大值,它们在解决相互协调的关系时,可以得到满意的结果。而在解决相互冲突的关系时,则会显得很牵强,往往会得到一些违反常识的结果[1,2]。而平均算子的结果只能在最小值和最大值之间变化,采用的是"折衷"的思想,它在解决相互冲突的关系时,可以得到满意的结果,却不能有效地解决相互协调的关系。

通过上面的分析发现,这些合成算子的运算范围都有局限性,不能全面、准确地反映复杂系统中各因素间关系的不确定性,这就需要提出一种新的可在全局上取值的逻辑运算[3]。本文第二作者在对决策理论研究的基础上提出了基于"么元e"的柔性"泛组合"运算模型,对解决此问题提供了一条有效的途径。

但是,现有的泛组合运算模型描述的是一种理想的等权情况,而实际复杂系统中的各因素一般都具有不同的权重。本文将对不等权泛组合运算模型进行研究,给出两种广义加权算子,并据此提出一种不等权泛组合运算模型,从而可以更准确地处理复杂系统中各因素间关系的不确定性问题。

2 泛组合运算模型

2.1 泛组合运算模型

泛逻辑是建立在广义相关系数 h 和广义自相关系数 k 可变之上的一种柔性逻辑,不仅考虑了命题真值的模糊性,还考虑了命题之间关系的连续可变性(即关系柔性)。本文提出了"广义相关性"和"广义自相关性"的概念,并将命题连接词运算模型定义为由命题间相关性所控制的算子簇,为复杂系统

到稿日期:2008-07-15 返修日期:2008-09-28 本文受北京工业大学博士科研启动基金项目(52007012200702),北京工业大学青年科研基金项目(97007012200701),北京市教育委员会学科与研究生教育建设项目资助。

付利华(1976-),女,博士,讲师,CCF会员,主要研究方向为复杂系统的柔性逻辑推理等,E-mail:fulh1113@yahoo.com.cn;何华灿(1938-),男,博士生导师,主要研究方向为人工智能及其应用、泛逻辑学等。

的柔性推理提供了新的思路和方法。泛组合是泛逻辑学中的组合连接词，是由命题间的广义相关系数 h 所确定的一个组合算子簇。

本文仅考虑命题间的广义相关系数 h，即仅考虑泛逻辑中的零级泛组合算子，其定义如下：

定义 1[2] 设映射 $C^e:[0,1]\times[0,1]\rightarrow[0,1]$，且

$$C^e(x,y,h)=ite\{\Gamma^e[(x^m+y^m-e^m)^{\frac{1}{m}}]\mid x+y<2e;1-(\Gamma^{1-e}[(1-x)^m+(1-y)^m-(1-e)^m])^{\frac{1}{m}}\mid x+y>2e;e\} \quad (4)$$

则称 C^e 为零级泛组合运算，表示为 C^e_h，其中 $m=(3-4h)/(4h(1-h))$，$h\in[0,1]$，$m\in R$，$e\in[0,1]$。

注：条件表达式 $ite\{\beta|\alpha;\gamma\}$ 表示：如果 α 为真，则 β，否则 γ。$ite\{\beta_1\mid\alpha_1;\beta_2\mid\alpha_2;\gamma\}=ite\{\beta_1\mid\alpha_1;ite\{\beta_2\mid\alpha_2;\gamma\}\}$。$[0,1]$上的限幅函数 $\Gamma^1[x]=ite\{1\mid x>1;0\mid x<0$ 或虚数；$x\}$。

零级泛组合运算是包括了几种常用组合算子的一个连续可控的组合算子簇。在实际应用中，可根据命题间的广义相关性，在簇中选取相应的组合算子。下面给出几种特殊的组合算子：

1)$h=1$，表示两命题最大相吸，$C^e(x,y,1)=ite\{\min(x,y)\mid x+y<2e;\max(x,y)\mid x+y>2e;e\}$为 Zadeh 组合 C^e_3。

2)$h=0.75$，表示两命题独立相关，$C^e(x,y,0.75)=ite\{xy/e\mid x+y<2e;(x+y-xy-e)/(1-e)\mid x+y>2e;e\}$为概率组合 C^e_2。

3)$h=0.5$，表示两命题最大相斥，也是最小相克，$C^e(x,y,0.5)=\Gamma^1[x+y-e]$为有界组合 C^e_1。

4)$h=0$，表示两命题最大相克，$C^e(x,y,0)=ite\{0\mid x,y<e;1\mid x,y>e;e\}$为突变组合 C^e_0。

2.2 任意区间$[a,b]$上的泛组合运算模型

对于某些分布或数学模型而言，需要在其自身的定义域内完成推理与控制，这样既简化了普通用户对于控制变换的理解与实现，也减小了因为逻辑系统自身的局限性给系统带来误差的可能[4]。为此，陈志成在其博士论文中基于泛逻辑学的基本思想，建立了一种可以在任意区间$[a,b]$上进行推理的逻辑——分形逻辑[4]。

下面仅对分形逻辑中的组合运算模型进行介绍。

定义 2[4] 设映射 $GC^e:[a,b]\times[a,b]\rightarrow[a,b]$，且

$$GC^e(x,y,h)=ite\left\{\min\left(e,(b-a)\left[\max\left(0,\frac{(x-a)^m+(y-a)^m-(e-a)^m}{(b-a)^m}\right)\right]^{\frac{1}{m}}+a\right)\mid x+y<2e;b+a-\min\left(e',(b-a)\left[\max\left(0,\frac{(b-x)^m+(b-y)^m-(b-e)^m}{(b-a)^m}\right)\right]^{\frac{1}{m}}+a\right)\mid x+y>2e;e\right\} \quad (5)$$

则称 GC^e 为$[a,b]$区间上的零级泛组合运算，表示为 GC^e_h。其中，$m=\frac{(3-4h)}{(4h(1-h))}$，$h\in[0,1]$，$m\in R$，$e,e'\in[a,b]$，$e'=b+a-e$。

3 不等权泛组合运算模型

在现实世界的各种复杂系统中，各因素对合成最后的决策具有不同的权重，并且在系统的运行过程中，某些因素的权重还会动态变化。比如，在控制系统中，制定控制策略的基本思想是[5]：当误差大时，应对误差的控制作用给予较大的权重，以尽快消除误差，提高系统的响应速度；当误差小时，为避免系统响应的超调，应对误差变化的控制作用给予较大的加权，以尽快进入稳态。

通过前面的分析可以看出，现有的泛组合运算模型是一种可在全局上取值的逻辑运算，能够较好地解决复杂系统中各因素间关系的不确定性。但是，它没有考虑因素间的不等权性，而是理想地认为系统中的各因素对于合成最后的决策具有相同的影响程度。

3.1 泛组合运算模型的加权算子

为了准确地反映复杂系统中各因素间的不等权性，人们根据具体的应用提出了各种加权算子应该满足的性质，其中较为著名的是 Yager 加权算子。

3.1.1 Yager 加权算子

Yager[3]提出的加权算子定义如下：

定义 3[3] 设映射 $h(\alpha,x):[0,1]\rightarrow[0,1]$，$e$ 是合成算子 YC^e 的么元，$e\in[0,1]$，α 表示变量 x 的权值，$\alpha\in[0,1]$，如果 $h(\alpha,x)$满足以下条件：

1) $h(\alpha,x)$关于变量 x 单调递增，即当 $x>x'$时，$h(\alpha,x)\geqslant h(\alpha,x')$；

2) $h(0,x)=e$；

3) $h(1,x)=x$；

4) $h(\alpha,x)$关于 α 连续，即当 $x\geqslant e$ 时，$h(\alpha,x)$关于 α 单调递增；当 $x\leqslant e$ 时，$h(\alpha,x)$关于 α 单调递减。

则称 $h(\alpha,x)$为合成算子 YC^e 的 Yager 加权算子。

根据 Yager 加权算子的定义，可以得到下面的定理：

定理 1 设 $h(\alpha,x)$是合成算子 YC^e 的 Yager 加权算子，那么有：

当 $x\geqslant e$ 时，$h(\alpha,x)\geqslant e$；

当 $x\leqslant e$ 时，$h(\alpha,x)\leqslant e$。

证明：根据其定义中的条件 2 和条件 4，可以简单证明该定理。

该定理表明，考虑权重后的变量只是改变其值的大小，不会改变变量的根本属性。

定理 2 如果 $h(\alpha,x)$是满足上面 4 条性质的加权算子，那么有：

当 $x\geqslant e$ 时，$h(\alpha,x)\leqslant x$；

当 $x\leqslant e$ 时，$h(\alpha,x)\geqslant x$。

证明：根据其定义中的条件 3 和条件 4，可以简单证明该定理。

该定理表明，考虑权重后的变量，其值都是向门限值 e 靠近的。

Yager 加权算子随权值 α 的变化情况如图 1 所示。

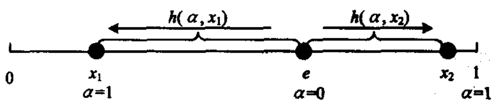


图 1 Yager 加权算子随权重 α 的变化情况

常见的 Yager 加权算子为：$h(\alpha,x)=\alpha x+(1-\alpha)e$，其运

算模型如图 2 所示。

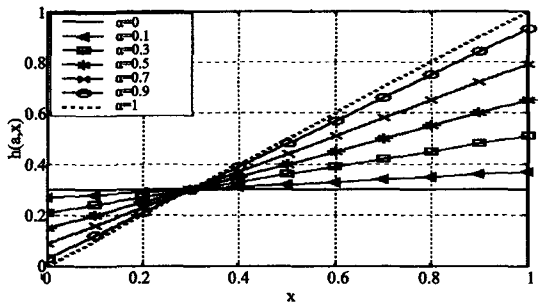


图 2　Yager 加权算子的运算模型图($e=0.3$)

3.1.2　*广义加权算子*

通过前面的分析可以看出，Yager 加权算子主要存在以下不足：

1) 不能保证逻辑上绝对真(假)的命题在考虑权值后仍为绝对真(假)。从 Yager 加权算子的定义可以看出，它会将绝对真(假)的命题处理为偏真(假)的命题。但从逻辑学的观点看，绝对真(假)的命题在考虑权值后应仍为绝对真(假)。

2) 不论权值 α 取什么值，Yager 加权算子得出的值均在变量 x 和么元 e 之间进行变化(如图 1 所示)。而在某些实际应用中，可能要求随着权值 α 的变化，加权处理后的变量是在整个定义域上变化。

3) Yager 加权算子定义在单位区间[0,1]上。而在某些实际应用中，需要在其自身的定义域内完成推理与控制，以减小因逻辑系统自身的局限性给系统带来误差的可能。

针对上述问题，本文提出了两种定义在任意区间 $[a,b]$ 上的广义加权算子 $Gh(\alpha,x)$。

定义 4　设映射 $Gh(\alpha,x):[a,b]\to[a,b]$，$e$ 是合成算子 GC^e 的么元，$e\in[a,b]$，α 表示变量 x 的权值，$\alpha\in[0,1]$。如果 $Gh(\alpha,x)$ 满足以下条件：

1) $Gh(\alpha,x)$ 关于变量 x 单调递增，即当 $x>x'$ 时，$Gh(\alpha,x)\geqslant Gh(\alpha,x')$；

2) $Gh(0,x)=ite\{a|x=a;b|x=b;e\}$；

3) $Gh(\alpha,e)=e$；

4) $Gh(\alpha,a)=a, Gh(\alpha,b)=b$；

5) 当 $\alpha\in(0,1)$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 关于 α 连续，即当 $x\geqslant e$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 关于 α 单调递增；当 $x\leqslant e$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 关于 α 单调递减；

6) $Gh(1,x)=x$。

则称 $Gh(\alpha,x)$ 为合成算子 GC^e 的广义加权算子Ⅰ。

根据广义加权算子Ⅰ的定义可知，随着权值 α 从 0 变化到 1，加权算子对变量 x 总是削弱的。其随权值 α 的变化情况和 Yager 加权算子一致，如图 3 所示。

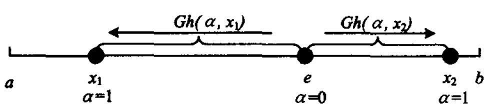


图 3　广义加权算子Ⅰ随权重 α 的变化情况

定义 5　设映射 $Gh(\alpha,x):[a,b]\to[a,b]$，$e$ 是合成算子 GC^e 的么元，$e\in[a,b]$，α 表示变量 x 的权值，$\alpha\in[0,1]$。如果 $Gh(\alpha,x)$ 满足以下条件：

1) $Gh(\alpha,x)$ 关于变量 x 单调递增，即当 $x>x'$ 时，$Gh(\alpha,x)\geqslant Gh(\alpha,x')$；

2) $Gh(0,x)=ite\{a|x=a;b|x=b;e\}$；

3) $Gh(\alpha,e)=e$；

4) $Gh(\alpha,a)=a, Gh(\alpha,b)=b$；

5) 当 $\alpha\in(0,1)$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 关于 α 连续，即当 $x\geqslant e$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 关于 α 单调递增；当 $x\leqslant e$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 关于 α 单调递减；

6) $Gh(1,x)=ite\{e|x=e;a|x<e;b|x>e\}$。

则称 $Gh(\alpha,x)$ 为合成算子 GC^e 的广义加权算子Ⅱ。

根据广义加权算子Ⅱ的定义可知，随着权值 α 从 0 变化到 1，加权算子对变量 x 是先削弱后增强的。其随权值 α 的变化情况如图 4 所示。

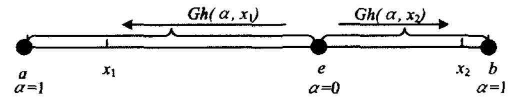


图 4　广义加权算子Ⅱ随权重 α 的变化情况

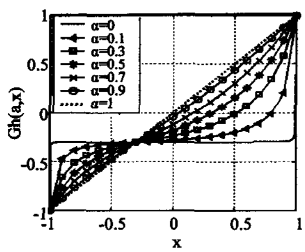
最常见的广义加权算子模型有多项式模型和指数模型：

1) 多项式型广义加权算子

$$Gh(\alpha,x)=ite\begin{cases}\dfrac{(x-e)(b-e)(1+n)^{\frac{1}{2}}}{((b-x)+(1+n)^{\frac{1}{2}}(x-e))}+e\,|\,x>e;\\[2ex] e-\dfrac{(e-x)(e-a)(1+n)^{\frac{1}{2}}}{((x-a)+(1+n)^{\frac{1}{2}}(e-x))}\,|\,x<e;\\[2ex] e\end{cases}\tag{6}$$

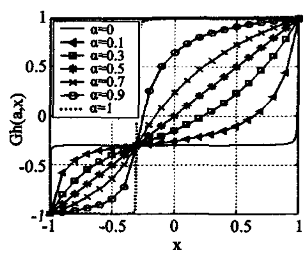
a) 如令 $n=\dfrac{(4(\alpha-1))}{(2-\alpha)^2}$，$\alpha\in[0,1]$，$n\in[-1,0]$，且当 $\alpha=0$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 取极限情况，则此时式(6)描述的是广义加权算子Ⅰ，其运算模型如图 5 所示。

b) 如令 $n=\dfrac{(2\alpha-1)}{(1-\alpha)^2}$，$\alpha\in[0,1]$，$n\geqslant-1$，且当 $\alpha=0,1$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 取极限情况，则此时式(6)描述的是广义加权算子Ⅱ，其运算模型如图 6 所示。



(a=−1,b=1,e=−0.3)

图 5　多项式型广义加权算子Ⅰ的运算模型图



(a=−1,b=1,e=−0.3)

图 6　多项式型广义加权算子Ⅱ的运算模型图

当广义加权算子在[−1,1]区间上取值，且令 $e=0$ 时，即 $a=-1, b=1$，则相应的多项式型广义加权算子为：

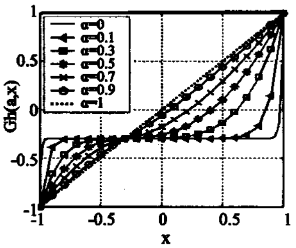
$$\begin{aligned}Gh(\alpha,x)=ite\{&x(1+n)^{1/2}/((1-x)+(1+n)^{1/2}x)\,|\,x>0;\\&x(1+n)^{1/2}/((x+1)-(1+n)^{\frac{1}{2}}x)\,|\,x<0;\\&0\}\end{aligned}\tag{7}$$

2) 指数型广义加权算子

$$\begin{aligned}Gh(\alpha,x)=ite\{&(b-e)\left(\frac{(x-e)}{(b-e)}\right)^n+e\,|\,x>e;\\&e-(e-a)\left(\frac{(e-x)}{(e-a)}\right)^n\,|\,x<e;e\}\end{aligned}\tag{8}$$

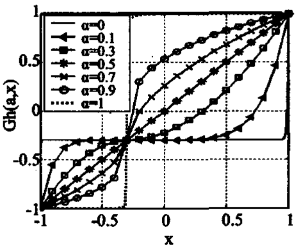
a) 如令 $n=\dfrac{\ln 2}{(\ln 2-\ln(2-\alpha))}$，$\alpha\in[0,1]$，$n\geqslant 1$，且当 $\alpha=0$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 取极限情况，则此时式(8)描述的是广义加权算子Ⅰ，其运算模型如图 7 所示。

b) 如令 $n=-\dfrac{\ln 2}{\ln(1-\alpha)}$，$\alpha\in[0,1]$，$n>0$，且当 $\alpha=0,1$ 时，$Gh(\alpha,x)$ 取极限情况，则此时式(8)描述的是广义加权算子Ⅱ，其运算模型如图 8 所示。



(a=－1,b=1,e =－0.3)

图 7　指数型广义加权算子Ⅰ的运算模型图



(a=－1,b=1,e=－0.3)

图 8　指数型广义加权算子Ⅱ的运算模型图

当广义加权算子在$[-1,1]$区间上取值时，且令 $e=0$，即 $a=-1$，$b=1$，则相应的指数型广义加权算子为

$$Gh(\alpha,x)=ite\{x^n\,|\,x>0;-(-x)^n\,|\,x<0;0\} \tag{9}$$

从前面分别给出的两个模型随 α 变化的曲线图中，不难发现它们之间的共性和微小差异。其中，多项式模型具有很好的性质且计算简单，是较理想的加权算子，在应用中常常使用它。但指数模型更容易用物理器件实现，因此这两个模型各有所长。

3.2　不等权泛组合运算模型

根据前面关于广义加权算子的定义，可以得出不等权泛组合运算模型为：

定义 6　设映射 $UGC^e(x,y,\alpha_x,\alpha_y,h):[a,b]\rightarrow[a,b]$，且

$$UGC^e(x,y,\alpha_x,\alpha_y,h)=GC^e(Gh(\alpha_x,x),Gh(\alpha_y,y),h) \tag{10}$$

则称 $UGC^e(x,y,\alpha_x,\alpha_y,h)$ 为区间$[a,b]$上的不等权泛组合运算，表示为 UGC^e_h。其中，$Gh(\alpha,x)$ 为上节提出的广义加权算子，$GC^e(x,y,h)$ 为在任意区间$[a,b]$上取值的泛组合算子，e 是泛组合算子 GC^e 的幺元，$e\in[a,b]$，h 为衡量 x 和 y 之间广义相关性大小的广义相关系数，$h\in[0,1]$，α_x,α_y 分别表示变量 x,y 的权值，$\alpha_x,\alpha_y\in[0,1]$。

不等权泛组合运算模型 UGC^e_h 的合成方式如图 9 所示。

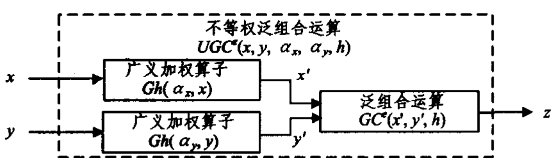


图 9　不等权泛组合运算模型

4　实例分析

可以通过下面的例子来形象地说明该问题[2]。

实例 1　设有两个独立的团体对某一候选人进行带有支持度的投票选举：一个团体给出的支持度是 x，$x\in[0,1]$；另一个团体给出的支持度是 y，$y\in[0,1]$。规定 e 是通过选举的门限值，即表示弃权的幺元，$e\in[0,1]$。例如 $e=0$ 表示只要有人提议就通过；$e=0.5$ 表示过半数通过；$e=2/3$ 表示需要 2/3 多数通过；$e=1$ 表示需要一致通过等。不妨设 $e=0.5$，即当支持度在$[0,0.5]$区间，表示该团体反对，支持度越小，反对的程度越强；当支持度在$[0.5,1]$区间，表示该团体赞成，支持度越大，赞成的程度越强；当支持度为 0.5 时，表示该团体弃权。

1) 采用 T-范数进行合成

a) 当两个团体都反对时，如 $x=0.2$，$y=0.4$，根据性质 1，则合成的结果不会大于 min(0.2,0.4)，这是合理的，说明由于出现了一致的反对意见，结果的支持度会小于最小值；

b) 当两个团体都赞成时，如 $x=0.6$，$y=0.8$，根据性质 1，则结果的支持度会小于 min(0.6,0.8)，这说明出现了一致的支持意见，反而减小了最后的支持度，这是不太合理的；

c) 当两个团体意见发生冲突时，如 $x=0.2$，$y=0.9$，根据性质 1，则结果的支持度会小于 min(0.2,0.9)，这说明完全不顾另一个团体的赞成意见，反而减小了结果的支持度，这是不太合理的；

d) 当一方弃权时，结果也可能不是另一方的支持度，这是不太合理的。

2) 当采用 S-范数或是平均算子作为合成算子时，也会出现相同的问题；

3) 采用等权泛组合运算，假设两个团体是独立相关的，即刻画团体间相关性的广义相关系数 h 为 0.75，且两个团体是等权的，则由等权泛组合运算的定义可得，此时的合成算子为概率组合 C^e_2：

$$C^e(x,y,0.75)=ite\{xy/e\,|\,x+y<2e;\ (x+y-xy-e)/(1-e)\,|\,x+y>2e;\ e\} \tag{11}$$

a) 当两个团体都反对时，如 $x=0.2$，$y=0.4$，根据式(11)，则合成的结果为 0.16，这是合理的，这说明由于出现了一致的反对意见，结果的支持度会小于最小值；

b) 当两个团体都赞成时，如 $x=0.6$，$y=0.8$，根据式(11)，则合成的结果为 0.84，这是合理的，这说明由于出现了一致的赞成意见，结果的支持度会大于最大值；

c) 当两个团体意见发生冲突时，如 $x=0.2$，$y=0.9$，根据式(11)，则合成的结果为 0.84，这是合理的，这说明由于两个团体意见发生冲突，结果的支持度是两个支持度的"折衷"；

d) 当一方弃权时，结果为另一方的支持度，这也是合理的。

4) 采用不等权泛组合运算，假设两个团体是独立相关的，即 h 为 0.75，且设一个团体是由权威专家组成，其权值为 0.8，而另一个团体是由一般人员组成，其权值为 0.4，如采用多项式型广义加权算子Ⅱ，则将 $a=0$，$b=1$，$e=0.5$ 代入式(6)和式(5)，分别得加权算子 $Gh(\alpha,x)$ 和等权合成算子 $GC^e(x,y,h)$：

$$Gh(\alpha,x)=ite\begin{cases}\dfrac{0.5(x-0.5)(1+n)^{\frac{1}{2}}}{((1-x)+(1+n)^{\frac{1}{2}}(x-0.5))}+0.5\,|\,x>0.5;\\[2ex] 0.5-\dfrac{0.5(0.5-x)(1+n)^{\frac{1}{2}}}{x+(1+n)^{\frac{1}{2}}(0.5-x)}\,|\,x<0.5;\\[2ex] 0.5\end{cases} \tag{12}$$

(下转第 213 页)

度要求为 $E=10^{-15}$ 时，计算时间也仅为 4.562624 秒。以上仿真结果表明，本文构造的 Chebyshev 基函数神经网络对非连续函数同样具有较好的学习和逼近能力。这也是对上文中 Chebyshev 正交基逼近理论的延展。

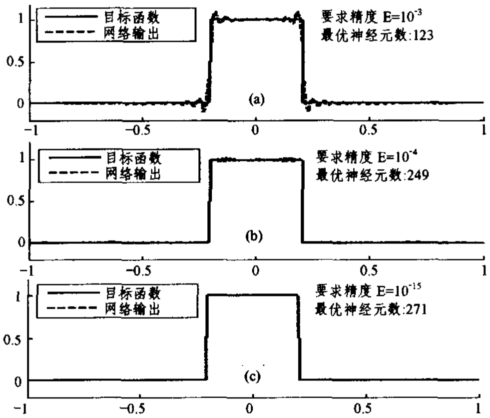


图 5　函数仿真实例 3

结束语　本文构造了一种 Chebyshev 基函数神经网络，并推导出权值直接确定公式，克服了传统 BP 网络学习算法学习率难以选取、迭代学习过程冗长、易陷入局部极小等固有缺陷。在此基础上，也设计了自动确定网络最优隐神经元数目的自适应算法。

仿真结果表明，该网络能够快速有效地完成网络权值的确定和结构的自适应调整，对任意非线性连续函数均具有优良的逼近性能；另外该网络还能够有效地去除随机加性噪声，对非连续函数(如窗函数)也同样具有较好的学习和逼近能力。

参 考 文 献

[1] Rumelhart D, McClelland E. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition[M]. Cambridge: MIT Press, 1986

[2] 杨治明，王晓蓉，彭军，等. BP 人工神经网络在图像分割中的应用[J]. 计算机科学，2007，34(3)：234-236

[3] 张雨浓，李巍，刘巍，等. 幂级数前向神经网络的权值直接确定法[C]// 2007 年全国模式识别学术会议论文集. 北京：科学出版社，2007：72-77

[4] Zhang Y, Wang J. Obstacle avoidance of kinematically redundant manipulators using a dual neural network[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2004, 34(1): 752-759

[5] Zhang Y, Ge S. Design and analysis of a general recurrent neural network model for time-varying matrix inversion[J]. IEEE Transactions on Neural Network, 2005, 16(6): 1477-1490

[6] Wen J, Zhao J, Luo S, et al. The improvements of BP neural network learning algorithm[C]// The 5th International Conference on Signal Processing Proceedings. Beijing, China, 2000

[7] Sun B, Wang X, Wang X, et al. A fast compositive training algorithm of forward neural network[C]// IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control. Ft. Lauderdale, Florida, USA, 2006

[8] 高雪鹏，从爽. BP 网络改进算法的性能对比研究[J]. 控制与决策，2001，16(2)：167-171

[9] 王科俊，李国斌. 几种变学习率的快速 BP 算法比较研究[J]. 哈尔滨工程大学学报，1997，18(3)：31-35

[10] 曹飞龙，张永全，潘星. 构造前向神经网络逼近多项式函数[J]. 模式识别与人工智能，2007，20(3)：331-335

[11] 江善和，张杰. 基于 Chebyshev 基函数模糊神经网络的快速辨识方法[J]. 系统仿真学报，2006，18(3)：590-593

[12] 吴小俊，王士同，杨静宇，等. 基于正交多项式函数的神经网络及其性质研究[J]. 计算机工程与应用，2002，38(9)：25-26

[13] 肖少拥. 正交神经网络的动态动态建模方法研究[J]. 计算机科学，2000，27(1)：61-64

[14] 蔺小林，蒋耀林. 现代数值分析[M]. 北京：国防工业出版社，2004

[15] 李岳生，黄友谦. 数值逼近[M]. 北京：人民教育出版社，1978

[16] 方保镕，周继东，李医民. 矩阵论[M]. 北京：清华大学出版社，2004

(上接第 202 页)

其中，$n=\dfrac{(2\alpha-1)}{(1-\alpha)^2}$。

$$GC^{\prime}(x,y,0.75)=ite\{xy/e\,|\,x+y<2e;\ (x+y-xy-e)/(1-e)\,|\,x+y>2e;e\} \tag{13}$$

a) 当两个团体都反对时，如权威专家团体给出的支持度 $x=0.2$，一般成员团体给出的支持度 $y=0.4$，根据式(12)可得考虑权值后的支持度分别为：$x'=0.0714$，$y'=0.4286$，再分别带入式(10)和式(13)，则合成的结果为 0.0612；

b) 当两个团体都赞成时，如权威专家团体给出的支持度 $x=0.6$，一般成员团体给出的支持度 $y=0.8$，根据式(12)可得考虑权值后的支持度分别为：$x'=0.75$，$y'=0.75$，再分别带入式(10)和式(13)，则合成的结果为 0.875；

c) 当两个团体意见发生冲突时，如权威专家团体给出的支持度 $x=0.2$，一般成员团体给出的支持度 $y=0.9$，根据式(12)可得考虑权值后的支持度分别为：$x'=0.0714$，$y'=0.8636$，再分别带入式(10)和式(13)，则合成的结果为 0.1233。

从上面的合成结果可以看出，在考虑权值后，合成的结果更合理。

结束语　现有的泛组合运算模型描述的是一种理想的等权情况，而实际复杂系统中的各因素一般都具有不同的权重。因此，本文对不等权泛组合运算模型进行了研究，在深入分析现有加权算子不足的基础上，给出了两种广义加权算子，并据此提出了一种不等权泛组合运算模型，从而可以更准确地处理复杂系统中各因素间关系的不确定性问题。

参 考 文 献

[1] 付利华. 复杂系统的柔性逻辑控制理论及应用研究[D]. 西安：西北工业大学，2005

[2] 何华灿，王华，刘永怀，等. 泛逻辑学原理[M]. 北京：科学出版社，2001

[3] Yager R R. Full reinforcement operators in aggregation techniques[J]. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, 1998, 28(6): 757-769

[4] 陈志成. 复杂系统中分形混沌与逻辑的相关性推理研究[D]. 西安：西北工业大学，2004

[5] 李士勇. 模糊控制、神经控制与智能控制论[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1996

[6] 付利华，何华灿. 模糊推理中相异因子的研究[J]. 计算机科学，2004，31(2)：98-100

[7] 付利华，何华灿. 模糊推理中零级泛蕴涵的信息度约束研究[J]. 计算机科学，2005，32(1)：162-164