

一种可变模糊匹配阴性选择算法

王辉,于立君,王科俊,张利军

(哈尔滨工程大学 自动化学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:通过对人工免疫系统中阴性选择算法机理的分析,定义了连续相似性与背离度,提出了一种可变模糊匹配阴性选择免疫算法.算法通过调整匹配阈值的方法降低黑洞数量;利用模糊思想,实现了具有一定连续相似度的模糊匹配,模糊程度可控;为了消除检测器间的冗余,提高检测器集的检测效率,算法在模糊匹配的基础上,生成了有效检测器集.仿真实验表明,可变模糊匹配阴性选择算法生成的成熟检测器检测范围较大,空间覆盖率明显提高,黑洞数量大幅下降,算法具有较强的鲁棒性.

关键词:阴性选择;连续相似度;模糊匹配;黑洞;有效检测器集

中图分类号: TP301 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2011)02-0178-07

An adjustable fuzzy matching negative selection algorithm

WANG Hui, YU Lijun, WANG Kejun, ZHANG Lijun

(College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: This paper analyzed the negative selection algorithm mechanism in an artificial immune system, defined continuous similarity and deviation, and put forward an adjustable fuzzy matching negative selection immune algorithm. The algorithm clearly reduced the number of holes through adjusting the matching threshold, and used a fuzzy idea to realize fuzzy matching with continuous controlled similarity. In order to eliminate the redundancy phenomenon between detector sets and increase the detecting efficiency, an effective detector set was created on the basis of fuzzy matching. The simulation results show that the mature detector generated by the adjustable fuzzy matching negative selection algorithm can detect data in a larger range and the space coverage ratio is noticeably increased. Also, the number of holes clearly declines, and the algorithm has better robustness.

Keywords: negative selection; continuous similarity; fuzzy matching; holes; effective detector sets

生物免疫系统是一个自适应和自组织的系统,具有强大的信息处理能力.生物免疫系统的主要作用是能够辨别“自己”与“异己”物质,只对非自体成份的抗原作出免疫应答,对“自体”成份形成免疫耐受,并具有排除与记忆非己的功能^[1].而阴性选择算法是免疫系统识别非自体,对自体形成自我耐受的关键所在,因此成为核心免疫算法之一,其性能对整个免疫系统具有重要意义.

阴性选择算法的一个主要优点就是在未知的状态下可以对非我模式进行有效的防御,但也存在不

足:检测黑洞数量较大,且检测率与字符串长度呈线性关系,进而检测器集与自我集规模呈指数级代价关系.在阴性选择算法的基础上,1996年由 Dhaeseleer 等人^[2]提出 2 个异常检测器产生算法,检测器与输入规模呈线性时间比例关系;Kim 和 Bentley 提出了在克隆选择中嵌入阴性选择算子的思想,并验证了其可行性^[3];罗一丹等人提出了一种基于免疫重构的阴性选择算法^[4],以保证系统发生意外的时候能够及时恢复、重组;蔡自兴等人提出一种基于 $(\mu + \lambda)$ 进化策略的阴性选择算法^[5],进而使得检测器的搜索不再盲目.

本文对阴性选择算法进行了深入研究,针对算法在匹配规则及检测器集等方面存在的不足,提出一种可变模糊匹配阴性选择免疫算法.匹配规则采

收稿日期:2009-09-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60704004);黑龙江省博士后基金资助项目(LBH-Z09216);中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(HEUCF00401).

通信作者:王辉. E-mail: wangh@hrbeu.edu.cn.

用变阈值思想,通过阈值 r 的调整来减少“黑洞”的数量.为了提高检测器集的检测效率,利用模糊思想,提出了连续相似度与背离度的概念,实现了模糊匹配,并生成了有效检测器集,提高了系统的检测效率和性能.

1 阴性选择算法及其存在的问题分析

免疫系统首要任务就是能够区分自己和非己物质,并通过免疫应答来发现外来入侵,执行免疫功能^[6],这就是免疫系统的自体-非自体识别原理.1994年 Forrest 等人^[7-8]基于此原理提出了阴性选择算法,实现了自体耐受.

阴性选择算法描述如下:

随机生成未成熟检测器;

While(成熟检测器集合还没有产生)

{ 计算一个未成熟检测器与自体的亲和力;

if(未成熟检测器与自体集匹配)该检测器不能成熟;

else 该检测器成熟,加入到检测器集合中;

};

利用经过耐受的成熟检测器集识别非自体,利用阴性选择算法可以在没有先验知识的情况下,对未知入侵进行有效防御.因此,阴性选择算法主要应用在异常检测方面,但在检测过程中存在“黑洞”问题.黑洞的存在取决于模式集的结构及模式匹配所采用的匹配规则^[6].自我模式集与非我模式集越相似,黑洞的数量就会越多.由于黑洞不可能被任何检测器检测到,因此应尽可能减少黑洞的数量及其出现的概率.

2 可变模糊匹配阴性选择算法

2.1 相关定义

定义1 相似度. 设模式串 $T = 't_1 t_2 \dots t_n'$ 和目标串 $Z = 'z_1 z_2 \dots z_n'$ 均为二进制字符串,字符串 Z 与模式串 T 的相似程度记为 $\text{xsid}(Z, T)$, 计算式(1):

$$\text{xsid}(Z, T) = \sum \text{Len}(T_{hi, hj}) / \text{Len}(T). \quad (1)$$

式中: $T_{hi, hj}$ 为字符串 Z 在 T 中对应位置上所包含的一系列子串 $T_{h1, h2}, T_{h3, h4}, \dots, T_{hi, hj} (1 \leq h_1 \leq h_2 < h_3 \leq h_4, \dots < h_x \leq h_y \leq n)$, Len 表示字符串的长度. 显然当 $\text{xsid}(Z, T) = 1$ 时, $Z = T$, Z 与 T 精确匹配.

定义2 连续相似度. 对于2个模式串 $T = 't_1 t_2 \dots t_n'$ 和 $Z = 'z_1 z_2 \dots z_n'$, 设 $T_{hi, hj} (1 \leq h_i \leq h_j \leq n)$ 为字

符串 Z 在 T 中对应位置上所包含的一系列子串, 则模式串 T 和 Z 的连续相似度记为 $\text{lxsd}(Z, T)$, 计算式(2):

$$\text{lxsd}(Z, T) = \max(\text{Len}(T_{hi, hj})) / \text{Len}(T). \quad (2)$$

式中: $\max(\text{Len}(T_{hi, hj}))$ 表示所有连续相同子串长度的最大值. 例如, 串 $B: 01110010 \underline{11001}$, 串 $Z: 01001101 \underline{11000}$, 其连续相似度为 $\text{xsid}(Z, B) = \max(2, 4) / 13 = 4 / 13 = 0.3077$.

定义3 背离度. 设模式串 $T = 't_1 t_2 \dots t_n'$ 和目标串 $Z = 'z_1 z_2 \dots z_n'$ 均为二进制字符串, 则字符串 Z 与模式串 T 的背离度定义为 $\text{bld}(Z, T) = 1 - \text{xsid}(Z, T) = 1 - \sum \text{Len}(T_{hi, hj}) / \text{Len}(T)$.

例如, 对于上述串 B 和串 Z , 则背离度为 $\text{bld}(Z, B) = 1 - \text{xsid}(Z, B) = 1 - \sum \text{Len}(B_{hi, hj}) / \text{Len}(B) = 1 - (2 + 4) / 13 = 0.5385$. 背离度体现了2个字符串的完全背离程度, 即2个字符串对应位不相同的字符所占的比例.

定义4 匹配. 在一定匹配规则下, 2个模式串 T 和 Z 的连续相似度超过匹配阈值 $r / \text{Len}(T)$, 则称 T 和 Z 匹配, 记为 $\text{Ppei}(T, Z)$.

2.2 算法描述

可变模糊匹配阴性选择算法分2部分, 第1部分为可变模糊匹配算法实现, 第2部分为生成有效检测器集算法实现^[9].

可变模糊匹配算法实现.

1) 定义自我集 S 为长度 L 的字符串集.

2) 设置初始阈值 r_1 , 计算 bldf (背离度阈值) 及 lx sdf (连续相似度阈值).

3) 随机生成长度为 L 的未成熟检测器 A , 将 A 依次与自我集 S 进行模糊匹配.

4) 若 A 未与自我集发生任何匹配, 则 A 成熟, 将 A 及其匹配阈值加入到检测器集中. 若检测器个数已达到要求, 转到7); 否则, 转到3).

5) 否则, S 中还有未与 A 进行匹配操作的个体, 计算 A 与 S 中未操作的当前个体的相应背离度. 若背离度超过阈值, 转到4); 否则, 计算连续相似度.

6) 若连续相似度未超过阈值, 转到4); 超过阈值, 调整匹配阈值为 r' , 若 $r' > r_c$, 转到3), 否则, 转到4).

7) 生成有效检测器集.

算法流程图如图1所示.

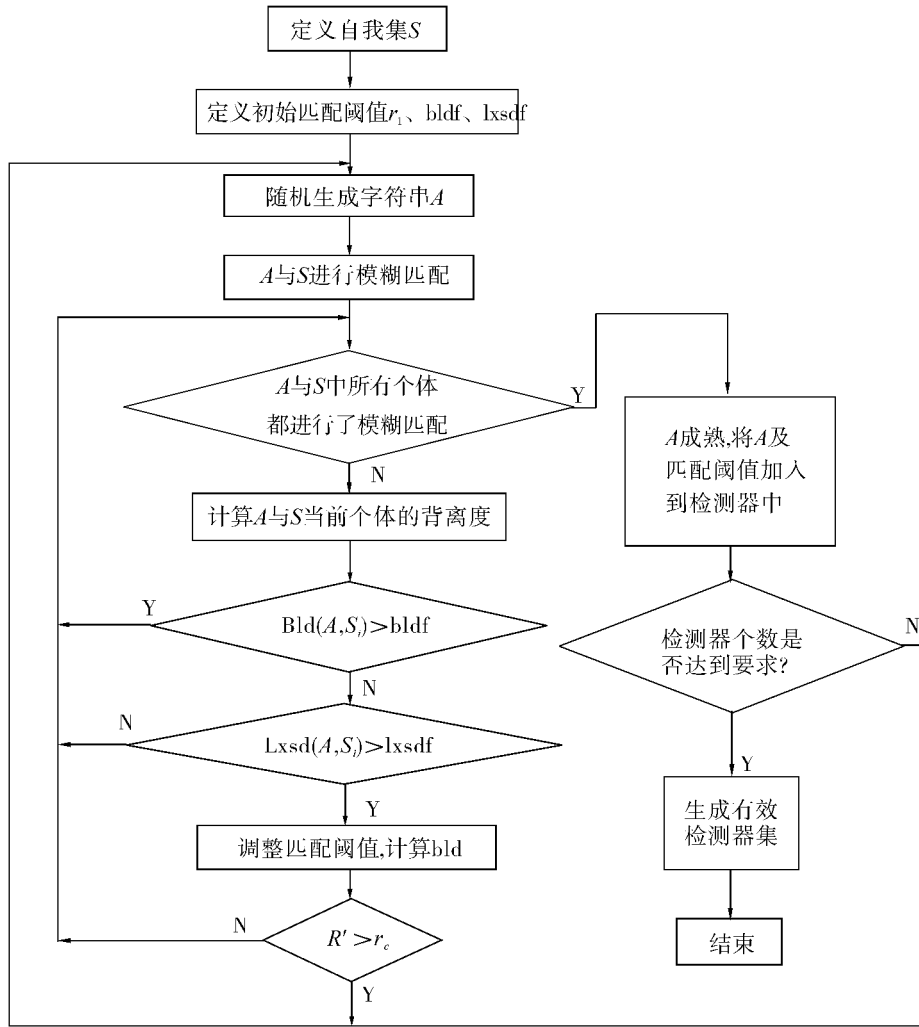


图1 可变模糊匹配阴性选择算法流程

Fig. 1 The flow chart of the adjustable fuzzy matching negative selection algorithm

可变模糊匹配阴性选择算法在检测过程中通过不断地调整匹配阈值使黑洞中的字符被检测到,从而降低黑洞的数量. 匹配阈值按 $r_i = r_{i-1} + 1$ 的规则调整,调整范围为 $[r, r + C - 1]$,并根据匹配阈值的变化调整连续相似度. 对于不匹配的子串,其长度越大,背离度就越大,当背离度超过背离度匹配阈值时,该字符串成熟. 这种匹配是模糊的,其相似度是可控的,并且带有可调的控制参数,可以根据参数控制模糊程度,从而使得该算法检测范围较大,具有较强的鲁棒性.

可变模糊匹配阴性选择算法产生的检测器集是由不同匹配阈值的检测器构成的. 匹配阈值可变使检测器集中检测器个数增多,检测范围增大. 普通阴性选择算法生成的检测器集中只有惟一的匹配阈值,检测范围固定. 由此可见,普通阴性选择算法是可变模糊匹配阴性选择算法的一个特例.

生成有效检测器集算法其中, C 为待操作检测

器集(由第一部分可变模糊匹配算法生成), n 为检测器个数, $C[i]$ 为当前待操作检测器, $C[k]$ 为 C 剩余未操作检测器,算法描述如下:

- 1) 设置初始阈值 r , 计算 $bldf$;
- 2) $C[i]$ 与 $C[k]$ 进行匹配测试;
- 3) 若 $C[i]$ 通过了匹配测试,则 $C[i]$ 成熟,加入到有效检测器集 D 中,转到6);
- 4) 否则取下一个 $C[k]$ 与 $C[i]$ 进行匹配测试,设置 $lxsdf$ 与 bld 初值,并计算 $C[i]$ 与当前 $C[k]$ 的 $lxsdf$ 与 bld ;
- 5) 若 $bld \leq bldf$ && $lxsdf \geq r / \text{Len}(C[i])$ 条件成立,删掉 $C[i]$,转到6);否则转到3);
- 6) 若检测器集合 C 中的每一个 $C[i]$ 都进行了与 $C[k]$ 的匹配测试,算法结束,所生成的 D 为有效检测器集合;否则,转到2).

算法流程图如图2所示.

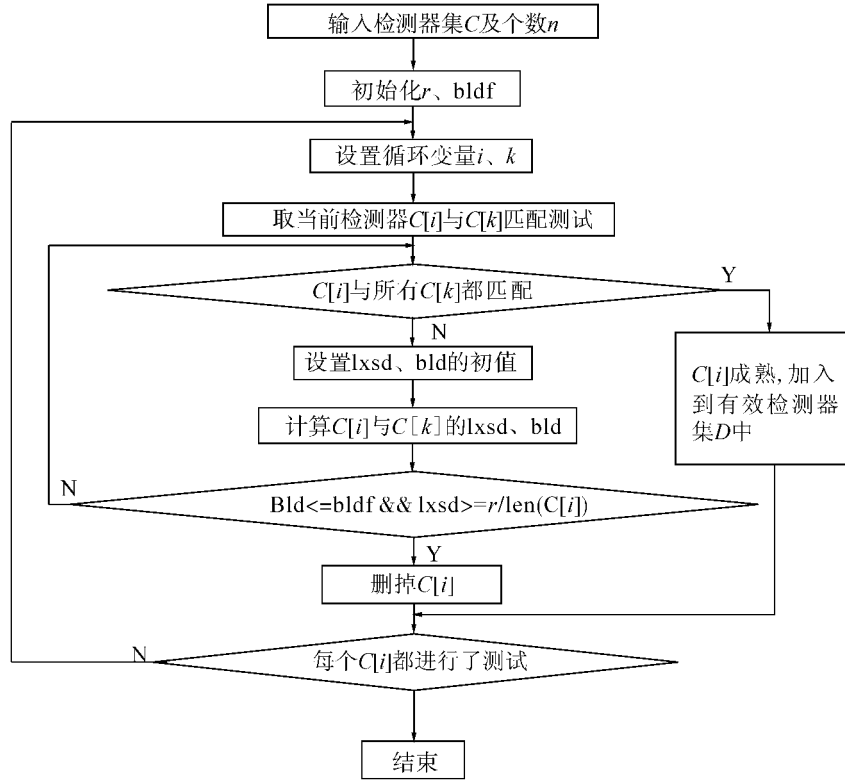


图2 有效检测器算法流程图

Fig.2 The flow chart of the effective detector

匹配操作在可变模糊匹配阴性选择算法中,是一个关键操作:生成检测器集时,匹配用于判断检测器是否成熟;实施检测操作时,匹配用于识别异常模式^[10-11].由于自我集具有一定的相似性,因而基于自我集产生的成熟检测器之间可能存在匹配的现象.检测器之间互相匹配,使得它们检测空间基本相同,等同于一个检测器的作用,因而检测效率大大降低.由于冗余的检测器并不能增加检测器集的整体覆盖空间,因而要去掉冗余,提高效率.有效检测器集生成算法正是基于此思想设计的,算法消除了检测器之间的匹配现象,使系统的空间覆盖率达到最大.

3 仿真分析

算法仿真时采用 `randerr(1 200,32,[0:32])` 函数随机生成1 200个二进制串作为自我集 N_s , 字符串长度 $L=32$, 并仿真分析了采用可变模糊匹配阴性选择算法后检测器数目、检测率及黑洞数目的变化情况.其中 N_{a0} 为待检测的检测器数目, N_R 为由算法生成的检测器数目, P_M 为2个随机串互相匹配的概率, f 为随机串不与 N_s 匹配的概率, P_f 为漏报率, P_s 为检测率.

3.1 成熟检测器生成的概率分析

在连续 r_i 位匹配规则下2个随机串互相匹配

的概率设为 P_{Mi} , 则有

$$P_{Mi} = (l + r_i + 1)2^{-r_i} - (l - r_i)2^{-r_i-1} = 2^{-r_i} \left(\frac{l - r_i}{2} + 1 \right). \quad (3)$$

式中: l 为字符串的长度.

设产生一个成熟检测器的概率为 P_R , 即一个随机串经可变模糊匹配阴性选择算法后成为成熟检测器的概率.则 P_R 应满足

$$P_R = (1 - P_{M1}) + P_{M1}(1 - P_{M2}) + P_{M1}P_{M2}(1 + P_{M3}) + \cdots + P_{M1}P_{M2} \cdots P_{M(C-1)}(1 - P_{MC}) = 1 - P_{M1}P_{M2}P_{M3} \cdots P_{M(C-1)}P_{MC}.$$

从式(3)中可以看出,通过可变模糊匹配阴性选择算法产生一个成熟检测器的概率比普通阴性选择算法要高.这是因为可变模糊匹配阴性选择算法有多个可调的匹配阈值,从而使一个随机串成为检测器的概率提高.

下面分析不同匹配阈值的检测器分布概率.

在匹配阈值为 r_i 时,对于某一未成熟检测器不与自我集匹配的概率为

$$f_i = (1 - P_{Mi})^{N_s}.$$

成为匹配阈值 r_i 的成熟检测器的概率为

$$P_i = (1 - f_1)(1 - f_2) \cdots (1 - f_{i-1})f_i.$$

则不同匹配阈值的检测器的分布满足

$$N_{Ri} = N_{R0} P_i,$$

仿真时,随机生成10 000个未成熟检测器,即 $N_{R0} = 10\ 000$,当最大匹配阈值在 $r_c = 14 \sim 20$ 之间变化时,不同匹配阈值的检测器分布情况如图3所示。

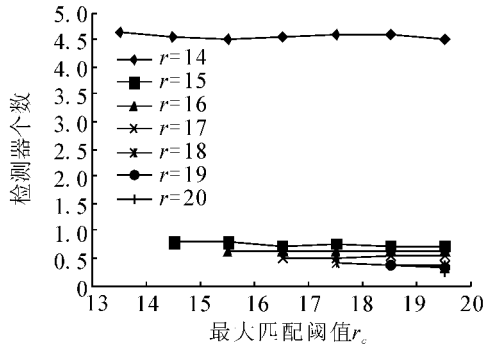


图3 成熟检测器分布图

Fig. 3 The mature detector

从图3中可以看出,表示某一匹配阈值的成熟检测器数目的曲线较平缓,并没有随着最大匹配阈值的增加而增大,说明检测器集中某一匹配阈值的成熟检测器的数目与最大匹配阈值无关,且数目基本固定。匹配阈值小的成熟检测器较多,因而能够覆盖较大的模式空间;匹配阈值大的成熟检测器较少,因而它能够检测到的异己模式较少,专一性较强。匹配阈值为模式串长度时所产生的成熟检测器,只能检测到一个“非己”模式,专一性最强。因此可变模糊匹配阴性选择算法实现了以较小的检测器集合,检测到较大范围的“非己”行为。

3.2 检测率

由分析可知,漏报率 P_f 满足

$$P_f = (1 - P_{M1})^{N_{R1}} + (1 - P_{M2})^{N_{R2}} + \dots + (1 - P_{MC})^{N_{RC}}.$$

则检测率为

$$P_s = 1 - P_f = 1 - (1 - P_{M1})^{N_{R1}} - (1 - P_{M2})^{N_{R2}} - \dots - (1 - P_{MC})^{N_{RC}}.$$

仿真中,利用上述实验产生的检测器,分别对含有“异己”字符串的自体个数为200、800、1 400的自我集进行检测,得出不同的最大匹配阈值与检测率的关系,如图4所示。

从图中可以看出,检测率随着最大匹配阈值的增加而增大,而与自体个数无关,只要检测器集中检测器个数固定,检测率就固定。图中3条曲线并没有完全重合,这与自我集的分布有关。最大匹配阈值为13时的检测率最低,说明可变模糊匹配阴性选择算法的检测率高于普通阴性选择算法。

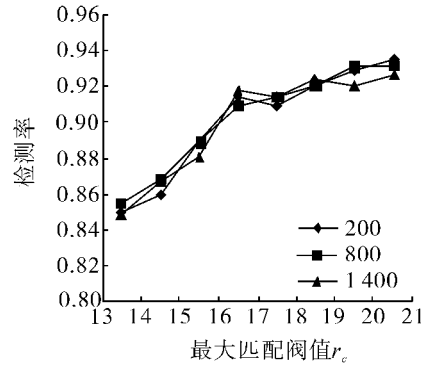


图4 不同自体下最大匹配阈值与检测率的关系

Fig. 4 The function between maximum matching threshold and detection rate with different autologous amount

3.3 检测器覆盖空间对比分析

用随机函数 $\text{randerr}()$ 生成自我集,并构造模式空间。 N_s 为40个长度为 $L = 13$ 的二进制串,则其模式空间共有8 192个模式串。由于可变模糊匹配阴性选择算法在产生检测器集时匹配阈值是变化的(例如 $r = 7 \sim 11$),而普通阴性选择算法匹配阈值固定(如 $r = 7$),因此可变检测器集中的检测器个数要远远多于普通阴性选择算法所产生的检测器个数,进而可变检测器集的覆盖空间要远大于普通阴性选择算法的。为了进一步增加可变检测器集空间覆盖率,本文生成了有效检测器集,下面对比分析可变检测器集与有效检测器集的覆盖空间。

用可变模糊匹配阴性选择算法分别产生含有21~29个检测器的检测器集($r = 7$,最大匹配阈值 $r_c = 11$),并对每一个检测器集生成对应的有效检测器集,对应的覆盖空间进行比较,如图5所示。

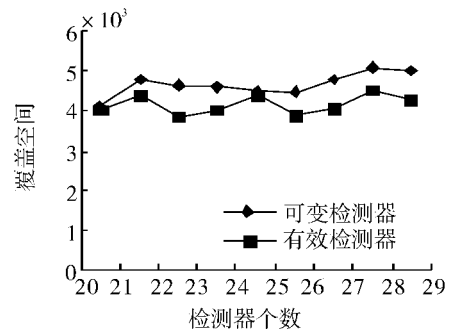


图5 覆盖空间的比较

Fig. 5 Comparison of the space coverage

从图5可以看出,可变模糊匹配算法的检测器集与有效检测器集的覆盖空间均有跳变现象,且从表面上看,有效检测器集的整体覆盖空间要低于可变检测器集的覆盖空间。这是因为由可变检测器集生成的有效检测器集中,成熟检测器的个数明显减少,如表1所示。

表 1 检测器个数对比表

Table 1 Comparison of the number of detectors

原检测器个数	有效检测器个数
21	13
22	15
23	14
24	15
25	17
26	15
27	14
28	18
29	19

从表 1 可以看出,随着原检测器个数的增加,有效检测器的个数并不是按比例变化,因此出现了图 5 中有效检测器覆盖空间的跳变现象. 为了更好地分析 2 种检测器集的空间覆盖率,在检测器个数相同的情况下进行实验对比,结果如图 6 所示.

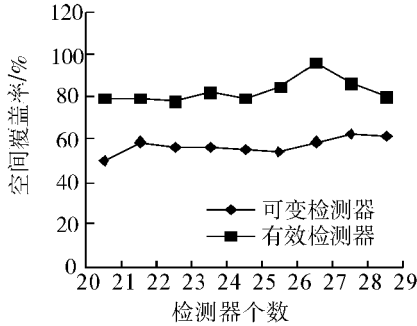


图 6 相同个数的检测器覆盖空间的比较

Fig. 6 The comparison of the space coverage with same detectors

从图 6 可以看出,在检测器个数相同的情况下,有效检测器集的覆盖空间整体高于可变检测器集的. 有效检测器集在检测器个数为 28、29 时也出现了下降的趋势,这主要是由于检测器集在生成时的随机性造成的.

3.4 黑洞分析

黑洞的数量主要取决于匹配规则及匹配规则下的匹配阈值. 根据文献[11]给出的基于连续位匹配规则下的黑洞计算方法,实验计算了最大匹配阈值不同时黑洞的数量,如表 2 所示.

表 2 最大匹配阈值不同时黑洞数量

Table 2 The number of holes with deifferent maximum matching threshold

最大匹配阈值 r_c	黑洞数量/ 10^5
4	276
15	219
16	74
17	40
18	68
19	31
20	19
21	90

从表中可以看出,随着最大匹配阈值的增加黑

洞数量迅速下降,这是主要是因为匹配阈值的可调性,使得大匹配阈值的检测器加入到检测器集中. 而匹配阈值较大的检测器检测专一性较强,因而使一些原本是黑洞的模式被检测到,从而使黑洞数量下降,检测范围扩大. 当 $r_c = 18$ 时的黑洞数量又有所增加,这主要是由于自我集分布的特点导致的.

4 结束语

阴性选择算法是人工免疫系统中的核心算法,其性能的改进对系统具有重要的意义. 为了降低黑洞的数量并提高检测率,提出了一种可变模糊匹配阴性选择算法. 算法通过调整匹配阈值,并采用相似度可控的模糊匹配,使黑洞的数量大幅降低. 算法具有有效检测器集,消除了原检测器集中存在的冗余现象,使每个检测器的覆盖空间都能达到最大. 仿真实验表明,该算法与普通阴性选择算法相比,具有较高的检测率和较少的黑洞数量,覆盖空间明显提高,实现了以较小的有效检测器集合,检测到较大范围的异己行为.

参考文献:

[1]王辉,王科俊,莫宏伟,等. 人工免疫系统及其在控制系统中的应用研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007(11): 1222-1227.
WANG Hui, WANG Kejun, MO Hongwei, et al. An immune negative selection algorithm with an adjustable threshold based on fuzzy logic[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2007(11): 1222-1227.

[2]D' HAESELEER D, FORREST S, HELMAN P. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis and implications[C]//Proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Research in Security and Privacy. Los Alamitos, USA: IEEE Computer Society Press, 1996: 215-220.

[3]BENTLEY P J, GORDON T, KIM J. New trends in evolutionary computation [C]//The Congress on Evolutionary Computation(CEC-2001). Seoul, Korea, 2001: 162-169.

[4]罗一丹,蔡自兴,王勇,等. 基于免疫重构的阴性选择算法[J]. 计算机科学, 2008, 35(3): 149-151.
LUO Yidan, CAI Zixing, WANG Yong. Negative selection algorithm based on immune reconfiguration[J]. Computer Science, 2008, 35(3): 149-151.

[5]肖赤心,蔡自兴,王勇,等. 进化策略用于阴性选择算法[J]. 小型微型计算机系统, 2008(11): 2091-2094.
XIAO Chixin, CAI Zixing, WANG Yong, et al. Application of evolutionary strategy to negative selection algorithm[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2008(11): 2091-

2094.

- [6] 莫宏伟. 人工免疫网络记忆分类器原理与应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005: 56-58.

MO Hongwei. Research of the principles and applications of artificial immune network memory classifier[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2005: 56-58.

- [7] FORREST S, HOFMEYER S A, SOMAYAJI A, LONGSTAFF T A. A sense of self for unix proceedings of the 1996 IEEE Symposium on Security and Privacy, Los Alamitos, CA, 1996: 120-128.

- [8] FORREST S, PERELSON A S, ALLEN L, CHERUKURI R. Self/nonself discrimination in a computer[C]//Proceedings of the 1994 IEEE Symposium on Security and Privacy. Los Alamitos, USA, 1994: 202-212.

- [9] 王辉. 可变模糊匹配阴性选择免疫算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008: 21-25.

WANG Hui. Research on the adjustable fuzzy matching negative selection immune algorithm[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008: 21-25.

- [10] 罗文坚, 曹先彬, 王煦法. 检测器自适应生成算法研究[J]. 自动化学报, 2005, 31(6): 907-916.

LUO Wenjian, CAO Xianbin, WANG Xufa. Research on adaptively generating detector algorithm[J]. Acta Automatica Sinica, 2005, 31(6): 907-916.

- [11] 张剑, 何华灿, 赵敏. 免疫计算中复合检测集生成算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 28: 5-11.

ZHANG Jian, HE Huacan, ZHAO Min. Compound detector set: detectors with different affinity[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 28: 5-11.

- [12] DHAESSELEER P. Further efficient algorithms for generating antibody string technical Report CS95-03[R]. Albuquerque USA: The University of New Mexico, 1995.

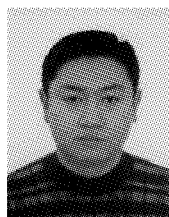
作者简介:



王辉, 女, 1976 生, 副教授, 主要研究方向为先进控制理论及应用、智能控制、人工免疫. 连续五年获哈尔滨工程大学优秀主讲教师, 2009 年获哈尔滨工程大学自动化学院首届教学名师奖, 被评为 2010 年度学生最喜爱的教师, 发表学术论文 40 余篇, 其中 EI 检索 10 余篇, 编著教材 4 部.



王科俊, 男, 1962 年生, 教授、博士生导师、博士, 哈尔滨工程大学自动化学院副院长, 模式识别与智能系统学科带头人. 主要研究方向为模糊混沌神经网络、自适应逆控制理论、可拓控制、网络智能控制、模式识别、多模态生物特征识别、联脱机指纹考试身份鉴别系统、微小型机器人系统等. 完成科研项目 20 余项, 目前在研项目 10 余项. 曾获得部级科技进步二等奖 2 项、三等奖 3 项, 省高校科学技术一等奖 1 项、二等奖 1 项. 发表学术论文 180 余篇, 出版学术专著 3 部、国防教材 1 部, 主审教材 2 部.



于立君, 男, 1975 年生, 副教授, 博士, 主要研究方向为船舶姿态控制、先进控制理论及应用. 荣获黑龙江省科技进步二等奖、校三育人先进个人、校先进工作者、校优秀主讲教师等多项荣誉. 参加省部级科研项目 5 项、承担省博士后基金 1 项、中央高校自由探索计划项目 2 项. 发表学术论文 30 余篇, 其中被 EI 检索 8 篇, 出版著作 2 部.