

基于蚁群算法的 SimuroSot 中场队形转换技术*

覃杨森, 屈四宝, 娄云峰, 史豪斌, 于竹君

(西北工业大学 计算机学院, 西安 710072)

摘要: 在 SimuroSot5v5 的中场策略中引入蚁群算法,通过采用信息素分区获取的方式建立起球队中场队形转换机制。该机制以球的位置为驱动信息,根据求取的信息素来确定出适当的中场队形;同时设计任务死锁的自调节模块来提高机器人的自适应能力。仿真实验结果表明,加入以分区方式获取信息素的蚁群算法决策技术,增加了中场队形转换的灵活性,使得球队的整体攻防能力上都得到了相应的改善。

关键词: 机器人足球; 队形转换; 分区信息素; 蚁群算法

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2009)07-2446-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2009.07.012

Ant colony algorithm based on midfield formation conversion system

QIN Yang-sen, QU Si-bao, LOU Yun-feng, SHI Hao-bin, YU Zhu-jun

(College of Computer Science & Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In order to improve the flexibility of the game formation of SimuroSot5v5, this article used the way of the information obtained by district-way in the ant colony algorithm, to build a midfield formation of the conversion system. To determine the appropriate midfield formation, the system used the position of the ball as the drive information, and got the corresponding information elements from the information-distribution chart. At the same time, it improved the ability of self-adaption of each robot, by adding the block of self-regulation module deadlock task. The simulation results show that after added the ant colony algorithm decision-making system which gets the information elements by district-way, the football team's flexibility of midfield formation is increased, and the team's overall defense and offense ability are both be improved accordingly.

Key words: robot soccer; formation conversion; zoning pheromone; ant colony algorithm

SimuroSot5v5 仿真机器人足球赛是国际机器人足球联盟 FIRA 主要赛事之一。近几年的世界大赛赛况表明,中场队形的转换在球队的策略系统中发挥着越来越重要的作用。在多数球队的进攻和防守策略日趋完善的情况下,通过做好中场的队形转换子系统是提高策略水平的又一突破口。本文在对众多算法模型验证的基础上,根据效果最终以蚁群算法为基本思想。在算法实现过程中,通过引入分区获取信息素的思路,使得算法与比赛平台系统能有效地融合在一起,充分显现出中场队形转换的重要作用。同时,通过在算法中加入死锁解决方案,让机器人获得了更大的自由度,提高了对场上态势的自适应能力。

1 蚁群算法基本原理

蚁群算法^[1]是一种新型的随机搜索模拟进化算法。根据昆虫学家的观察,原来蚂蚁在走过的路上会释放一种与路径长度有关的特殊分泌物——信息激素(pheromone)。蚂蚁走的路径越长,则释放的信息激素越小,使得一定范围内的其他蚂蚁能够觉察到并由此影响它们的行为。当一条路径上的信息激素越来越多(随着时间的推移会挥发),后来的蚂蚁选择这条路径的概率也会越来越大,从而增加该路径的信息激素强度(自催化过程),随后从整体角度出发规划出蚁群活动的行为方

向,周而复始,即可求出目标问题的最优解,其原理是一种正反馈机制,所以蚂蚁系统也成为增强型学习系统。其逻辑结构如图 1 所示。

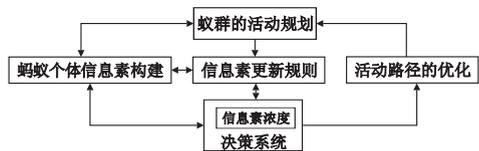


图1 蚁群算法的逻辑模型

由此可以看出,蚁群算法的基本思想是模仿蚂蚁依赖信息素进行通信而显示出的社会性行为,而在多智能体系统中,也可以通过类似的方式来解决协作、通信等问题,即每一个智能体都可以一定的频率将一些与自己相关的简单信息写在黑板上一定的数据区域内,同时从黑板上某些数据区域内读取自己感兴趣的信息,来实现多智能体之间通信和控制。

本文以上述为基本思路,依据信息素的变化来有效控制球队中场的队形转换。

2 基于蚁群算法的队形决策过程

2.1 决策模型及算法实现

利用上述蚁群算法的基本逻辑模型,可以衍生出一种控制

收稿日期: 2008-10-30; 修回日期: 2008-12-16 基金项目: 国家部委基金资助项目(51315080404); 航空科技创新基金资助项目(08E53003); 西北工业大学创新基金资助项目(071069936)

作者简介:覃杨森(1986-),男,广西人,本科,主要研究方向为人工智能、决策支持;屈四宝(1986-),男,陕西人,本科,主要研究方向为人工智能、决策支持;娄云峰(1987-),男,辽宁人,本科,主要研究方向为人工智能、决策支持;史豪斌(1978-),男,浙江宁波人,讲师,博士,主要研究方向为智能群体决策支持、人工智能、网络安全(shihaobin@nwpu.edu.cn);于竹君(1983-),女,广西人,硕士研究生,主要研究方向为人工智能。

多智能体的协同决策模型。设 n 个机器人进入一个 m 件任务未知的区域,它们开始进行独立的任务搜索,即各个机器人在区域中随机游荡搜寻需要完成的任务。开始时刻对应于所有任务 $j(j=1,2,\dots,m)$ 的信息素 τ_j 为 0。若机器人 $i(i=1,2,\dots,n)$ 发现一件任务 j 时,它首先尝试着独自完成这一任务。如果成功,机器人 i 得到一个奖励信号;如果不成功,它将任务 j 的相关信息写到信息记录中,并将任务 j 对应的信息素 τ_j 赋予大于 0 的值,于是 $\tau_j = \Delta\tau > 0$,同时,机器人 i 在任务 j 处等待一段时间。

若机器人 i 没有发现任何任务,处于空闲状态(没有执行具体任务的状态)时,它每隔一段时间在信息记录的任务相关区上进行搜索,若未发现与某件任务相关的信息素大于 0,则继续在空间中搜索任务;若发现有 k 件任务的信息素 $\tau_s(s=1,2,\dots,k) > 0$,则计算与之相关的概率:

$$p_{is} = (\tau_s)^\alpha / \sum_{s=1}^k (\tau_s)^\alpha; s=1,2,\dots,k$$

其中: α 为任务参数,表示任务的重要程度。机器人在下一步以概率 p_{is} 选择任务 $s(s=0$ 表示任务 s 未执行, $s=1$ 表示任务 s 执行):

$$P(s=0 \rightarrow s=1) = p_{is}$$

即 p_{is} 达到一定的概率值,机器人对某一任务的执行状态从 $s=0$ 跳入 $s=1$ 状态中。

若机器人选择执行任务 s ,且能够胜任,或者可以与在 s 处等待的其他机器人一起完成任务,则立刻将信息记录上与任务 s 对应的信息素 τ_s 置 0,以免其他机器人受到错误的引导,仍向 s 所在的区域靠拢,造成劳力资源的浪费,并且过多的机器人聚集在同一个区域可能会造成阻塞。若任务仍然未被完成, τ_s 继续保持大于 0。如果在两个机器人协作的情况下尚不能完成任务,则将 τ_s 更新为 $\tau_s = \tau_s + \Delta\tau$ 。其中 $\Delta\tau$ 是新增加的信息素浓度。这样做的目的是加大信息素的浓度,以吸引更多的机器人进行协作。这样,难度越大的任务就会逐步被赋予越来越大的信息素浓度,从而吸引更多机器人进行协作。其具体的流程如图 2 所示。

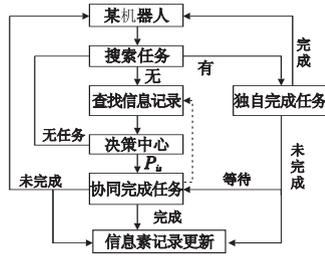


图2 信息素更新控制流程图

根据图 2 可以得到机器人的整体控制过程算法框架如下:

```
AgentControl() //机器人的整体控制
{
    for(i = 0; i < RobotNumber; i++)
    {
        if(SearchPheRecord(Robot[i]) && P[i][k] > 0)
            //满足条件时协作完成任务
            DoTaskWithOther(Robot[i]);
        else
            DoTaskOneself(Robot[i]); //不需要协作时,自己完成任务
        Updatepheromone(Task[k]); //更新信息素记录
        if(success[k]) //任务 k 完成
            return;
        else //未完成等待协作
            WairForOthers(Robot[i]);
    }
}
```

2.2 信息素的分区获取

信息素是驱动队形转换的重要信息,也是蚁群算法能否发挥出具体作用的关键部分。经过对平台的多次验证测试,为了能让新的中场转换模块更好地与原有系统融合在一起,文中采取了分区获取并处理信息素的方案。测试并重新设计后的信息素分布如图 3 所示。

图 3 中 $R_1 = 11.8111 \text{ cm}$, $R_2 = 21.6536 \text{ cm}$,由 R_1 形成的圆,属于 I 区;由 R_1 和 R_2 形成的圆环,属于 II 区;剩下的中场区域,属于 III 区。I 区对应的信息素为 τ_1 , II 区对应的信息素为 τ_2 , III 区对应的信息素为 τ_3 。各信息素分布区的初始值设定如下: $\tau_1 = 0, \tau_2 = 300, \tau_3 = 480$ 。初始值根据对队形系统的具体测试后设定^[2]。当在任务执行时,各信息素会根据任务执行的状态产生变化,并给出相应的信息,协助任务分配模块,解决出现的死锁问题。具体信息素分区获取策略如下:

a) 获取球的位置信息。

b) 如果在 I 区,派四个机器人进入该区域,完成队形的转换,并实时依据场上的态势,进行具体的任务分配,信息素 τ_1 开始积累。若球还依然在 I 区,且当信息素 τ_1 积累至 τ_2 的值后,启动任务解锁模块,将派遣的机器人个数减 1,即进入 II 区的决策情况中去,设定信息素为 τ_2 。

c) 如果在 II 区,则派三个机器人进入该区域,完成队形的转换,实时根据场上的比赛态势,进行具体的任务分配,信息素 τ_2 开始积累。当信息素 τ_2 积累至与 τ_3 相等后,若发现此时球依然在 II 区,则启动任务自解锁功能,将派遣的机器人个数减 1,即进入 III 区的情况中去,设定信息素为 τ_3 。

d) 球在 III 区,此时已经进入策略的进攻分区范围或防守分区范围,按照队形的进攻或防守策略进行决策。

2.3 队形任务分配的死锁问题

机器人的任务死锁^[3]是指机器人执着于执行一件自己“力所不及”的任务,从而丧失了完成其他任务的可能。

假如考虑到在未知环境中,存在着某一任务 s ,其艰巨性很大,是系统中所有机器人协作也完成不了的。当一个机器人 i 首先发现这一任务,并且得出依靠自身力量难以胜任的结论,这一任务会被赋予一定的信息素 τ_s ;随后,另一个机器人 j 受到 τ_s 的吸引,前来协助机器人 i 完成这一任务,结果却发现两者协作的情况下仍然不能完成任务,于是 τ_s 的值继续增大。随着 τ_s 的不断增大,越来越多的机器人受到它的吸引,前来加入协作,结果却是导致 τ_s 的进一步加大。尽管设定当机器人在任务 s 处尝试一段时间后,若发现没有进展就放弃这一选择,重新根据概率选择需要执行的任务,但是由于 τ_s 的值足够大,使得与之对应的 p_{is} 也很大,当机器人放弃任务 s 之后,很有可能马上受到任务 s 的吸引,再次尝试执行这一任务。这样,系统中的机器人很可能会全部被聚拢在一件无法完成的任务旁,结果使系统丧失了行为能力,如图 4 所示。

为了防止这样的局面产生,在前一部分的算法中加入了一个自适应衰减因子,使机器人具有摆脱任务死锁的能力。当一个处于空闲状态的机器人发现环境中有 s 件任务的信息素浓度大于 0,分别为 $\tau_s(s=1,2,\dots,k)$,则计算与之相关的概率:

$$p_{is} = (\tau_{is})^\alpha / \sum_{s=1}^k (\tau_{is})^\alpha$$

其中: τ_{is} 是机器人 i 所感触到的信息素浓度,初始化是, $\tau_{is} = \tau_s$,

机器人在下一步以概率 p_{is} 选择任务 s :

$$P(s=0 \rightarrow s=1) = p_{is}$$

即 p_{is} 达到一定的概率值, 机器人对某一任务的执行状态从 $s=0$ 跳入 $s=1$ 状态中。

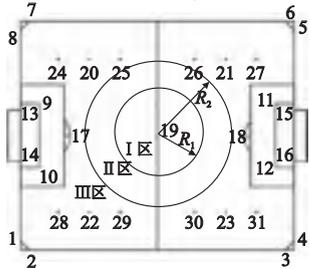


图3 信息素分布图

经历一段时刻 T 后, 机器人 i 若未能完成任务 s , 则放弃 s , 重新进行选择, 同时引入衰减因子 λ , 修改 τ_{is} 为

$$\tau_{is} = \lambda \tau_{is}$$

$$\lambda = \mu^{select_{is}}; 0 < \mu < 1$$

其中: μ 为一个小于 1 的常数; $select_{is}$ 为机器人 i 连续选择任务 s 的次数。可以看出, 当 $select_{is}$ 增大时 λ 减小, τ_{is} 减小, p_{is} 随之也减小, 这就使得机器人放弃任务 s 而执行其他任务成为可能。

经过自解锁模块的处理, 防止了比赛中过多机器人挤撞在一起的现象, 从而保证了比赛的流畅性和队形决策的连贯性, 提高了场上机器人的自适应能力。

2.4 队形的形成过程

队形的形成过程需要计算出各个机器人合适的运动目标点以及机器人如何根据信息素来决定如何到达目标点的路径。队形形成示意图如图 5 所示。

计算运动目标点的过程如下所述:

a) 用 (bx, by) 表示球的坐标, 用 $(rx[i], ry[i])$ 表示 $Position_i$ ($i=1, 2, 3, 4$) 的坐标, 即机器人的位置。另外, $length1$ 表示 $Position_1$ 到球的距离, $length2$ 表示 $Position_2$ 到球的距离, $length3$ 表示 $Position_3$ 到球的距离, $length4$ 表示 $Position_4$ 到球的距离。这些参数作为队形的控制参量, 调整 $Position_i$ 与球的位置关系, 主要采用动态测试^[4,5]来进行设定。

b) 通过基准点 DatumPoint 与球的坐标 (bx, by) 关系, 由 $Angle_1 = Angle_0$ 直接计算出 $Angle_1$ 的值。角度变量 $Angel_2$ 和 $Angel_3$ 用来控制 $Position_3$ 与 $Position_4$ 的位置, 可根据球的位置以及场上的信息, 通过动态调整来实现对队形的控制。

c) 根据曲线射门^[6,7]方法的思想, 经过平台获取到球的位置信息 (bx, by) 后, 结合本文的队形设计需要, 可由以下公式计算出对应的各个目标点:

(a) $Position_1$ 坐标的计算公式

$$rx[1] = bx + length1 \times \cos(Angle_1 + Angle_2 - \pi/2)$$

$$ry[1] = by + length1 \times \sin(Angle_1 + Angle_2 - \pi/2)$$

(b) $Position_2$ 坐标的计算公式

$$rx[2] = bx + length2 \times \cos(\pi - Angle_1 - Angle_2 - Angle_3)$$

$$ry[2] = by + length2 \times \sin(\pi - Angle_1 - Angle_2 - Angle_3)$$

(c) $Position_3$ 坐标的计算公式

$$rx[3] = bx + length3 \times \cos(Angle_1 + Angle_2)$$

$$ry[3] = by + length3 \times \sin(Angle_1 + Angle_2)$$

(d) $Position_4$ 坐标的计算公式:

$$rx[4] = bx + length4 \times \cos(Angle_1 + Angle_2 + Angle_3)$$

$$ry[4] = by + length4 \times \sin(Angle_1 + Angle_2 + Angle_3)$$

由以上步骤形成的队形实现过程简单, 以 DatumPoint 为基准点, 以球为中心, 将各个位置的公式带入即可计算出各个目标位置的坐标, 动作的实现可通过调用一个跑位函数即可完成。另外, 计算过程通过对变量 $length1, length2, length3, length4, Angel_1, Angel_2, Angel_3$ 的动态测定和调整, 增加了队形调整的灵活性, 有效地改变了队形, 提高了应变能力。

队形的目标点找出来以后, 根据以下过程选择各个位置点的最优机器人:

a) 用栅格化以及预测技术^[8], 设计出各个机器人到 $Position_1$ 位的路径。

b) 根据各机器人到 $Position_1$ 的路径, 计算出所有机器人到 $Position_1$ 位的信息素。计算过程中考虑球员的位置信息并以一定的权值参与计算。最终信息素浓度最大的机器人将被确定为 $Position_1$ 位上的 1 号位队员。

c) 重新对除 1 号机器人外的其他机器人用栅格化与预测的方法, 设计出每一个机器人到其余各个位置的路径。

d) 重新计算各机器人到除 $Position_1$ 位的其他三个位置的信息素的大小。此时信息素的大小只需考虑时间问题, 每个机器人对应三个信息素的值。

e) 根据除 1 号机器人外的各机器人与对应目标点的组合关系, 找出一组信息素最大的移动方案, 即各机器人分别到不同目标位信息素之和最大的一个对应方案。

f) 调用路径控制与跑位函数, 实现阵形。

阵形一旦形成, 机器人便自动承担起一个队形角色。此刻将进入任务的决策和分配调节状态。由 2.3 节可以知道, 在任务的决策和分配过程中, 因某些任务的特殊性, 可能会导致任务的分配陷入死锁状态中去, 以致影响队形的控制效果。为此, 必须不断地检测信息素的状态信息, 依据信息素的变化, 采用动态任务求解^[9]的思想, 决定出适当的调整方式, 以解决死锁状态下出现的问题。具体过程示意图如图 6 所示。

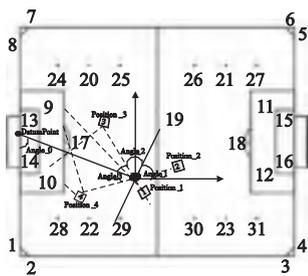


图5 队形形成示意图

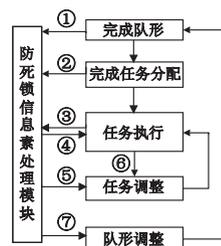


图6 死锁解决方案示意图

图 6 中各个过程具体说明如下:

①完成队形设定后, 向防死锁信息素处理模块传入队形信息素状态, 作为调整前的初始值, 并记录。

②完成任务分配后, 向防死锁信息素处理模块传入任务分配信息素状态, 作为调整前的初始值, 并记录。

③实时报告信息素状态, 由防死锁信息素处理模块记录任务执行状态的信息素, 并参照①②中的初始值作出相应处理。

④交换防死锁信息素处理模块和任务执行模块的信息素状态, 保证两个模块的信息素能同步改变。

⑤当防死锁信息素处理模块中的信息素变化状态满足整体队形的任务调整条件后, 由任务调整模块对整体的队形任务

作出相应的调整。

⑥信息素状态在一定的范围内变化,个别机器人需要进行自适应调节。

⑦当防死锁信息素处理模块中的信息素变化状态满足队形调整的条件后,驱动队形调整模块,通过调节整体队形以跳出死锁状态。

3 仿真实验及结果分析

为了验证本文基于蚁群算法的中场队形转换系统的有效性,在 SimuroSot5v5 比赛环境下进行了仿真实验。实验采用加入了中场队形转换模块的比赛系统和改进前原有的策略进行比赛,比赛按标准国际比赛规则进行,分上下半场,100 场比赛后采集的实验统计数据如表 1 所示。

表 1 仿真实验结果数据表

策略	加入中场队形转换	原策略
形成的底线进攻	738	224
形成的禁区进攻	433	125
中场反抢次数	241	117
中场截球次数	673	223
球在前场时间/%	68.2	31.8
全场控球率/%	60	40

从表 1 的数据结果明显可以看出,加入了中场队形转换系统的策略优于改进前的策略。通过数据分析发现,改进后的策略中场无论从控球时间还是将球控制在前场时间与老策略相比都占很大的优势。由于队形控制的特点,场上队员以球为中心,根据彼此的位置从全局上有效地控制了局面,在测试的比赛中常常看到队员的不断反抢与截球,这是因为队形对球的合围布置,为反抢与截球提供了有利的条件,从而保证了球大多时间控制在前场。由于球控制在前场以及控球时间的优势,可以更多地调用禁区内门前的策略,提高进球效率。同样,由于中场的控制,使得底线推求进攻的次数明显增多,而底线推球策略的进球几率近 50%,是一种非常高效的进攻方式。所有这些优势的形成究其原因还是加入了中场队形转换系统的队形策略能根据场上局势灵活布置队员站位,增强了各个队员的自适应能力,创造出了较多的门前及底线进攻的机会。当将球打入禁区,由于队形的整体行进并能做到及时转换从而迅速形成门前进攻态势,获得了更多门前及底线进球的机会。如果处在队形前方的持球队员丢球后,又可通过队形的转换,由其他队员对对方的攻防转换进行干扰,为截球争取时间,使得截球及时。通过对中场队形转换模块功能的扩展,队形中各队员之间的进攻角色也可方便地相互转换,从而可提高队形对场上局势的应变能力。所有这些表明了中场队形转换系统使

得球队的整体实力有了更大的提高。

4 结束语

为了提高 SimuroSot5v5 整体策略水平,在比赛系统中加入了中场的队形转换控制子模块。通过对中场队形的转换控制,提高了队形变换的连贯性,攻防转换的效率得到了明显改善。同时,采用任务自解锁的队形调整方式,让机器人获得了更大的自适应能力。在任务完成的过程中,通过自适应的调节,使得机器人跑到预定位置的成功率有了提高,因而提高了机器人之间的协作能力,能实现更多的传球方式和更多的定位球策略。仿真实验表明,引入了中场队形控制子模块的策略在比赛过程中创造出了更多的中场射门和前场补射机会。各机器人在任务的调节中能够自主地处理一些冲撞干扰,更有利于去完成破门得分的团队目标。由于中场队形应变性能的提高,中场的截球能力得到了加强,为球队缓解了一定的防守压力。改进后的整体策略提高了比赛中机器人的自主性和智能性。同时,由于此队形转换技术具备群体机器人任务协调能力的特殊性,使得该思想在实物机器人智能化的进程中有了更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 丁滢颖,何衍,蒋静坪. 基于蚁群算法的多机器人协作策略[J]. 机器人,2003,25(5):414-418.
- [2] ZHAN Shi-chang, XU Jie, WU Jun. The optimal selection on the parameters of the ant colony algorithm [J]. *Bulletin of Science and Technology*,2003,19(5):381-386.
- [3] 刘宏,林飞,查红彬. 解决足球机器人运动死锁问题的模糊决策方法[J]. 哈尔滨工业大学学报,2004,36(7):851-853.
- [4] LI Zhi-ye, CHEN Xiong, XIAO Wen-dong. A new motion planning approach based on artificial potential field in unknown environment [C]//Proc of International Conference on Parallel and Distributed Computing. 2004:376-382.
- [5] BELL J E, MCMULLEN P R. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem [J]. *Advanced Engineering Informatics*,2004,18(1):41-48.
- [6] JUNGM J, KIM H S, SHIM H S, et al. Fuzzy rule extraction for shooting action controller of soccer robot [C]//Proc of IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings. Seoul:[s. n.],1999:556-561.
- [7] FASSI H, SCARPETTINI F, SANTOS J. Development of the ubasot simulation team [C]//Proc of FIRA Robot World Congress 2003. 2003.
- [8] MEI Hao, TIAN Yan-tao, ZU Li-nan. Algorithm for route planning of robot in dynamic environment [J]. *吉林大学学报:信息科学版*,2006,24(2):148-152.
- [9] 贾利民,刘刚,秦勇. 基于智能 agent 的动态协作任务求解[M]. 北京:科学出版社,2007:45-67.

(上接第 2445 页)

- [28] KONG Ming, TIAN Peng. Application of ACO in continuous domain [C]//Proc of International Conference on Natural Computation. 2006:126-135.
- [29] ZHANG Jun, CHEN Wei-neng, TAN Xuan. An orthogonal search embedded ant colony optimization approach to continuous function optimization [C]//Proc of the 5th International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence. 2006:372-279.
- [30] SHELOKAR P S, SIARRY A, JAYARAMAN V K, et al. Particle

swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization [C]//Proc of Applied Mathematics and Computation 188. 2007:129-142.

- [31] REYNOLDS R G, STEFAN J M. Web searches, and cultural algorithms [C]//Proc of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics. 2003:3982-3987.
- [32] REYNOLDS R G, AL-SHEHRI H. The use of cultural algorithms with evolutionary programming to guide decision tree induction in large database [C]//Proc of IEEE International Conference on Computational Intelligence. 1998:541-546.