

基于共生粒子群优化的 RFID 网络调度

高政威¹, 庞哈利¹, 汪定伟¹, 陈瀚宁²

(1. 东北大学信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004;

2. 中国科学院沈阳自动化研究所信息服务与智能控制研究室, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 为了提高 PSO 算法性能以及避免其在求解复杂工程时的早熟收敛问题, 本文提出了一种新型改进 PSO 算法——Parasitism PSO. Parasitism PSO 算法将生物共生机制中的寄生进化机制嵌入到 PSO 算法中, 从而在寻优过程中有效地保持了算法的种群多样性. 在 4 个测试函数的仿真实验中, Parasitism PSO 与基本 PSO 算法相比, 能够取得更好的搜索性能. 然后, 本文基于 Parasitism PSO 进行 RFID 读写器网络调度模型的求解, 根据读写器冲突关系的变化在线进行读写器的时隙分配求解与控制. 仿真实验表明, 基于 Parasitism PSO 的 RFID 网络调度结果相比于基本 PSO 具有更高效率和实用性.

关键词: PSO 算法; 共生; 寄生; RFID 网络调度

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1002-0411(2012)-05-0564-07

RFID Network Scheduling Based on Symbiotic Particle Swarm Optimization

GAO Zhengwei¹, PANG Hali¹, WANG Dingwei¹, CHEN Hanning²

(1. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China;

2. Laboratory of Information Service and Intelligent Control, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110004, China)

Abstract: In order to improve PSO (particle swarm optimization) performance and avoiding premature convergence when solving complex engineering problems, an improved PSO algorithm called Parasitism PSO is proposed. The Parasitism PSO introduces parasitism evolution mechanism of symbiotic mechanism into PSO algorithm to maintain species diversity of algorithm in optimization process. In simulation experiment with four test functions, Parasitism PSO is proved to have better search performance than the original PSO. Parasitism PSO is then applied to solving RFID (radio frequency identification) reader network scheduling model. Time slot of reader is solved and controlled on-line according to collision change of reader. Simulation results demonstrate that the Parasitism PSO algorithm is more efficient and practical than original PSO in solving RFID network scheduling problem.

Keywords: PSO (particle swarm optimization) algorithm; symbiosis; parasitism; RFID (radio frequency identification) network scheduling

1 引言 (Introduction)

在自然界, 相互作用的种群互为不可缺少的生存条件, 在长期进化过程中相互依赖、相互调节而协同进化^[1-2]. 在自然生态系统中, 共生进化现象非常普遍^[3-4]. 寄生物—寄主关系是一种遭受选择压力个体间的一种回馈机制, 这种回馈机制为系统走向复杂提供了有力的驱动. 这种协同进化过程导致生态系统的生物多样性逐步增加.

粒子群优化算法 (particle swarm optimization, PSO) 是一种较好的全局优化算法, 已在很多领域得到成功的应用^[5-7]. 但是, 基本 PSO 算法只考虑了单一物种之间的协作, 而没有考虑不同物种之间的竞争. 基本 PSO 一方面体现不出自然界

中的种群多样性, 导致基本 PSO 容易陷入早熟收敛; 另一方面基本 PSO 进化模式与自然界中的“竞争与协作并存”模式也不符合. 为此, 本文借鉴了共生进化理论中的寄生模式, 在基本 PSO 算法中引入了寄生物与寄主两种生态角色, 通过定义单物种内协作与物种间竞争的信息交流拓扑结构以及行为机制, 提出了 Parasitism PSO 算法, 并通过对标测试函数 (包括连续函数和离散函数) 求解, 验证 Parasitism PSO 算法的可行性和有效性.

近年来, 随着 RFID 应用的不断增加, 国内外学者对 RFID 网络调度优化展开了研究. 韩国的 Han 等提出了一种动态防冲突算法应用于室内 RFID 系统^[8] 调度优化, 但该算法只适用于不考虑能源效率

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (70431003).

通讯作者: 高政威, neu_gzw@163.com 收稿/录用/修回: 2012-07-11/2012-07-24/2012-08-14

情况下的主动式 RFID 标签. Wang 等将基于 Gen-2 标准标签的防冲突算法进行了改进^[9], 仿真实验证明其设计的新型自适应 Q 学习算法相对于基本自适应 Q 学习算法具有更好的性能, 但并未完成与其它智能方法的性能比较. 国立台湾大学的黄汉邦等提出了一种确定性方法求解三维空间中 RFID 读写器的优化部署问题^[10], 但是该模型只适用于静态的 RFID 系统优化, 对 RFID 系统读写器和标签的动态特性缺乏考虑. 中国科学院沈阳自动化所的陈瀚宁等应用菌群算法对 RFID 标签覆盖率优化问题进行了求解^[11]. 本文将应用 Parasitism PSO 对 RFID 网络调度问题进行求解, 并与基本 PSO 算法进行了优化性能的比较分析.

2 Parasitism PSO 算法 (Parasitism PSO algorithm)

基本 PSO 算法、Parasitism PSO 算法的信息交流拓扑结构以及 Parasitism PSO 中寄生物与寄主两种生态角色的行为机制详细介绍如下.

2.1 基本 PSO 算法

假设一个由 M 个粒子组成的群体在 D 维的搜索空间以一定的速度飞行, 则粒子 i 在时刻 t 的状态属性如下:

位置: $\mathbf{x}_i^t = (x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{iD}^t)^T$, $x_{id}^t \in [L_d, U_d]$, L_d, U_d 分别为搜索空间第 d 维度的下限和上限;

速度: $\mathbf{v}_i^t = (v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{iD}^t)^T$, $v_{id}^t \in [V_{\min,d}, V_{\max,d}]$, V_{\min}, V_{\max} 分别为最小和最大速度;

个体最优位置 (即局部极值点): $\mathbf{p}_i^t = (p_{i1}^t, p_{i2}^t, \dots, p_{iD}^t)^T$;

全局最优位置 (即全局极值点): $\mathbf{p}_g^t = (p_{g1}^t, p_{g2}^t, \dots, p_{gD}^t)^T$;

其中 $1 \leq d \leq D, 1 \leq i \leq M$.

则粒子在 $t+1$ 时刻的位置通过下式更新获得:

$$v_{id}^{t+1} = \chi(wv_{id}^t + c_1r_1(p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2r_2(p_{gd}^t - x_{id}^t)) \quad (1)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (2)$$

其中, χ 称为压缩因子, w 称为惯性权重, r_1, r_2 为均匀分布在 $(0, 1)$ 区间的随机数, c_1, c_2 为学习因子. 如果求解离散问题, 则根据下式进行粒子的离散位置更新:

$$S(v_{id}) = \frac{1}{1 + \exp(-v_{id}^{t+1})} \quad (3)$$

$$\text{if } (\text{rand}() < S(v_{id})) \\ \text{then } x_{id}^{t+1} = 1; \text{ else } x_{id}^{t+1} = 0 \quad (4)$$

从式 (1) 中可以看出粒子的速度更新公式主要由 3 部分组成: 第 1 部分为粒子对其历史速度的继承, 表示粒子对当前自身运动状态的信任, 依据自身的速度进行惯性运动; 第 2 部分为粒子的自我“认知 (cognition)”部分, 表示粒子本身的思考, 即综合考虑自身以往的经历从而实现对于下一步行为的决策, 它反映的是一个增强学习过程; 第 3 部分为粒子的“社会 (social)”学习部分, 表示粒子间的信息共享与相互合作.

2.2 Parasitism PSO 信息交流拓扑结构

本文使用有向加权图定义 Parasitism PSO 算法的信息交流拓扑结构, 图的顶点集代表所有个体, 边代表个体间的信息交流模式. 在 Parasitism PSO 算法中存在 3 种信息交流模式, 包括: 个体的认知 (自适应), 同一物种内个体间的互助协作, 以及不同物种间个体的竞争. 这 3 种信息交流模式定义如下:

定义 1 个体的认知模式可以定义为图 1. 关系 “ $A \xrightarrow{+} A$ ” 表示个体 A 的增强学习过程. “+” 表示个体通过认知达到对自己有利的目标.

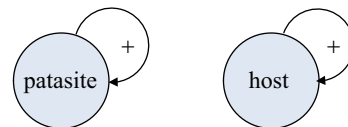


图 1 个体认知模式

Fig.1 Cognition patterns of individuals

定义 2 同一物种内个体间的协作交流模式可以定义为图 2. 关系 $A \xrightarrow{+} B$ 和 $B \xrightarrow{+} A$ 表示个体 A 和 B 之间的互惠互利. “+” 表示同一种群内个体间通过交流协作获得对自己有利的信息.

定义 3 不同物种间的寄生模式可以定义为图 3. $A \xrightarrow{+} B$ 和 $B \xrightarrow{-} A$ 表示寄生物 A 和寄主 B 之间的竞争关系. “+” 表示寄生物通过获取寄主的养分而获利, “-” 表示寄主遭受伤害的压力回馈机制.

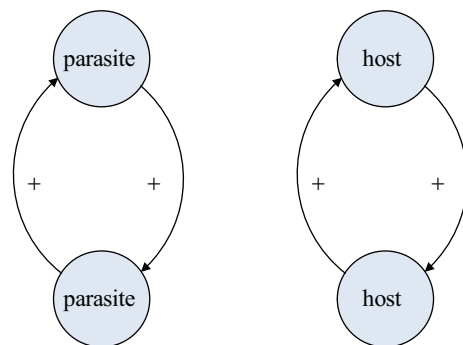


图 2 种内协作模式

Fig.2 Cooperation patterns within the same species

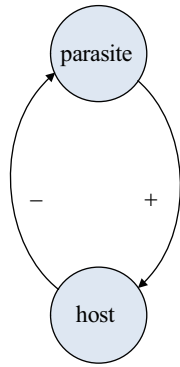


图3 种间竞争模式

Fig.3 Competition patterns between species

一个由 2 个寄生物 (parasite) 和 5 个寄主 (host) 组成的生态系统, 其信息交流拓扑结构可以表示为图 4.

2.3 Parasitism PSO 中寄生物与寄主两种生态角色的行为机制

在 Parasitism PSO 模型中个体 (粒子) 主要分成两类: parasite 粒子与 host 粒子. 在本文中 parasite

种群与 host 种群大小是相等的. 算法的迭代过程中, parasite 粒子的状态更新方程如下:

$$v_{id}^{\phi} = wv_{id}^{\phi} + c_1r_1(p_{id}^{\phi} - x_{id}^{\phi}) + c_2r_2(p_g^{\phi} - x_{id}^{\phi}) + c_3r_3(p_g^{\tau} - x_{id}^{\phi}) \quad (5)$$

$$x_{id}^{\phi} = x_{id}^{\phi} + v_{id}^{\phi} \quad (6)$$

其中 parasite 粒子的速度更新公式 (5) 由 4 部分组成: 第 1 部分为 parasite 粒子对其本身历史速度的继承; 第 2 部分为 parasite 粒子的自我“认知 (cognition)”部分; 第 3 部分为 parasite 种群内的“社会 (social)”学习部分, 表示 parasite 粒子间的信息共享与相互合作; 第 4 部分表示 parasite 粒子对 host 粒子的捕食搜索.

host 粒子的状态更新方程如下:

$$v_{id}^{\tau} = wv_{id}^{\tau} + c_1r_1(p_{id}^{\tau} - x_{id}^{\tau}) + c_2r_2(p_g^{\tau} - x_{id}^{\tau}) - c_3r_3(p_g^{\phi} - x_{id}^{\tau}) \quad (7)$$

$$x_{id}^{\tau} = x_{id}^{\tau} + v_{id}^{\tau} \quad (8)$$

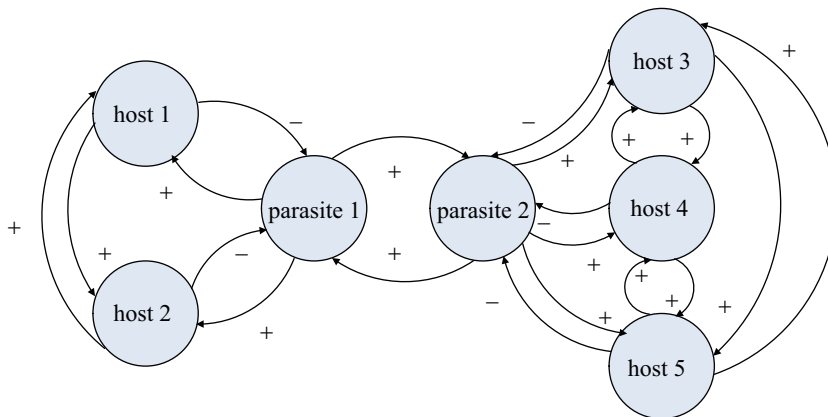


图4 寄生物—宿主生态系统

Fig.4 Parasite and host ecosystem system

与 parasite 粒子相同, host 粒子的速度更新公式 (7) 也由 4 部分组成: 前 3 部分的内涵与公式 (5) 相同; 第 4 部分表示 host 粒子对 parasite 粒子寄生压力的回馈行为. 公式中各变量的涵义如下:

- ϕ : parasite 种群标号;
- τ : host 种群标号;
- c_3 : 学习因子, 通常取 2.0;
- r_3 : (0,1) 之间的随机数;
- p_g^{τ} : parasite 种群中的最好位置;
- p_g^{ϕ} : host 种群中的最好位置;

其余变量的涵义见第 2.1 小节的 PSO 算法介绍.

整个 Parasitism PSO 种群可以看作如图 4 示例

的一个寄生物—寄主生态系统. 在 Parasitism PSO 算法模型中: 式 (5) 中的第 3 部分控制 parasite 粒子追踪与其有寄生关系的 host 粒子, 即每个 parasite 粒子同时向其本身历史最好位置、parasite 种群最好位置以及 host 种群最好位置靠近, 从而能够以更快的收敛速度向全局最优解靠近; 式 (7) 中的第三部分控制 host 粒子逃离与其有寄生关系的 parasite 粒子所在区域, 从而促使每个 host 粒子能够跳出局部最优点, 进入到新的区域进行全局搜索. 这种协同进化过程既加快了算法的收敛速度, 又有效保持了整个系统的多样性, 从而克服了基本粒子群算法的“趋同性”早熟收敛问题.

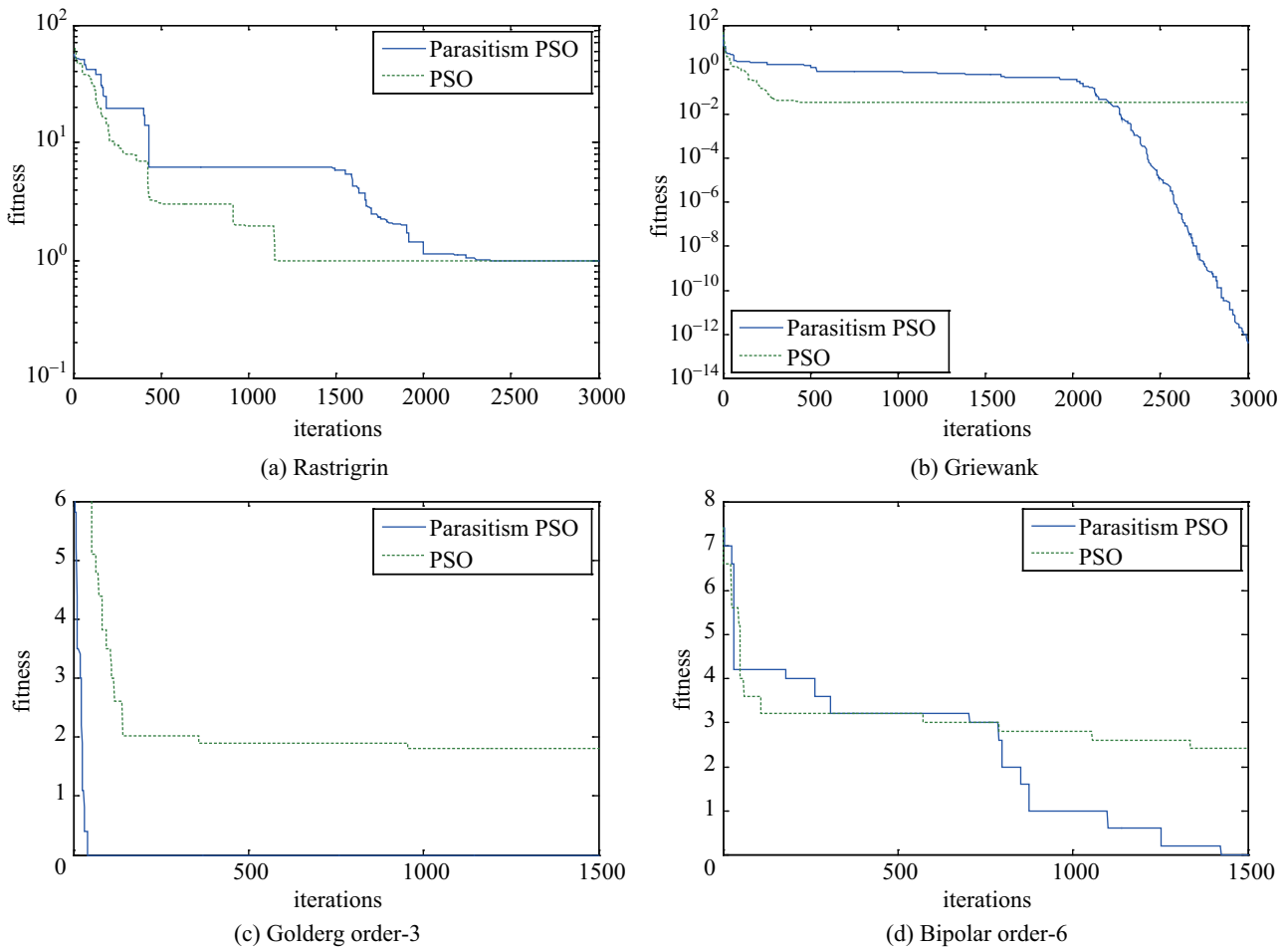


图 5 函数的收敛曲线比较图

Fig.5 Comparison of convergence curves of functions

2.4 标准测试函数实验仿真

本节选择了 4 个常用的标准测试函数 [12-13] 用于测试提出的 Paratitism PSO 算法性能, 并与基本 PSO 算法进行性能比较. 4 个函数中前两个是复杂的多峰连续函数, 后两个是离散函数, 函数的表达式简单描述如下:

(1) Rastrigrin function

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)) + 10 \quad (9)$$

(2) Griewank function

$$f_2(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos \frac{x_i}{\sqrt{i}} + 1 \quad (10)$$

(3) Golderg order-3

$$f_3(x) = \begin{cases} 0.9 & \text{if } |y| = 0 \\ 0.6 & \text{if } |y| = 1 \\ 0.3 & \text{if } |y| = 2 \\ 1.0 & \text{if } |y| = 3 \end{cases} \quad (11)$$

(4) Bipolar order-6

$$f_4(x) = \begin{cases} 1.0 & \text{if } |y| = 0 \text{ or } 6 \\ 0.0 & \text{if } |y| = 1 \text{ or } 5 \\ 0.4 & \text{if } |y| = 2 \text{ or } 4 \\ 0.8 & \text{if } |y| = 3 \end{cases} \quad (12)$$

设 PSO 和 Paratitism PSO 两种算法中的公有参数 $c_1 = c_2 = 2$, 惯性权重的大小设置为从 0.9 线性递减至 0.4. PSO 种群大小为 40, Paratitism PSO 中其它的参数分别设置为 $S^p = S^r = 20$, $c_3 = 2.0$. 每个算法独立执行 30 次, 平均试验的结果如表 1 所示. 为了更清楚地分析 Paratitism PSO 的进化过程, 图 5(a) ~ (d) 分别给出了 Paratitism PSO 和 PSO 算法对 4 种测试函数在 30 次运行中的最优进化曲线, 图 6(a) ~ (d) 分别给出了两种算法基于 4 种测试函数在进化过程中的种群多样性变化, 其种群多样性的度量由粒子距离方差计算得到 (30 次运行平均值).

从表 1 的实验结果和图 5 中的收敛曲线可以看

出, Parasitism PSO 算法在收敛速度和寻优精度上都好于 PSO 算法. 从图 6 可以看出, Parasitism PSO 算法中的 parasite 种群和 host 种群通过协同进化机

制, 能够在整个寻优过程中都保持较高的种群多样性, 从而跳出局部最优并有效地克服基本 PSO 算法的早熟收敛问题.

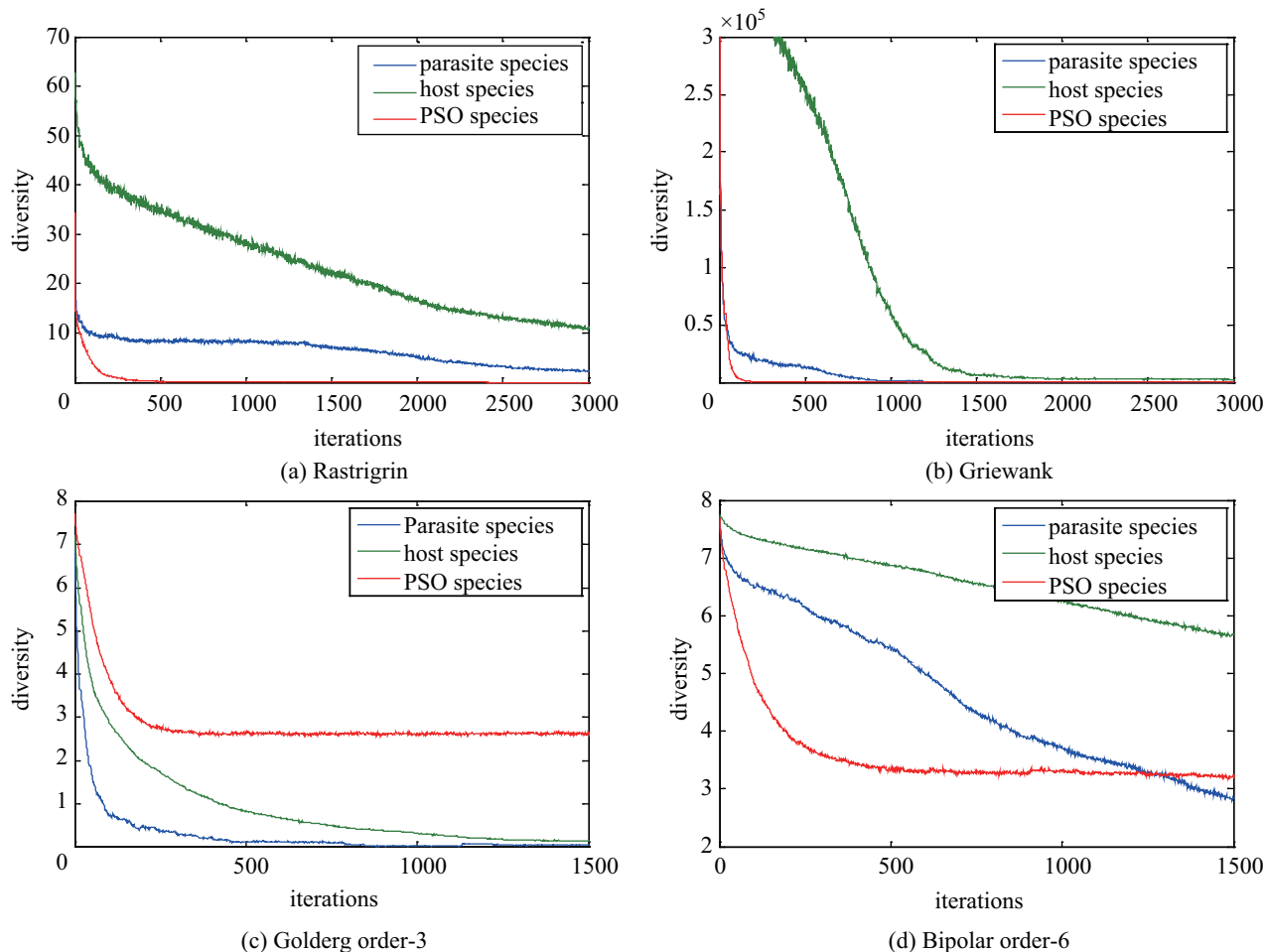


图 6 种群的多样性比较图

Fig.6 Comparison of species diversity

表 1 Parasitism PSO 与 PSO 结果比较

Tab.1 Comparisons between Parasitism PSO and PSO

	Rastrigrin	Griewank	Golderg order-3	Bipolar order-6
PSO	4.3778	0.0773	2.1833	3.1800
Parasitism PSO	4.2939	9.8561e-014	0	0.0533

3 基于 Parasitism PSO 的 RFID 读写器网络调度 (RFID reader network scheduling based on Parasitism PSO)

3.1 算法步骤

在文 [11] 中, RFID 读写器网络调度问题已经建模为拓展的图分割问题, 本文提出的基于 Parasitism PSO 的 RFID 网络读写器调度算法的具体步骤如下:

(1) 编码

本文结合 RFID 读写器网络调度问题的结构特点, 设计了一种动态二进制编码方案. 例如, 由 6 个读写器构成的 RFID 网络, 其编码方式如图 7 所示. 其中, Parasitism PSO 粒子的维度在不同的时隙中可以动态调整, 维度的大小等于在当前时隙中 RFID 网络的读写器数量; 图 7 中 time step 1 的粒子 [0 1 0 0 1 0] 表示网络中第 2、5 个读写器被选择分配当前时隙.

(2) RFID 读写器网络初始化

对于 n 个读写器建立的 RFID 网络图 $G =$

(V, E) , 初始化读写器顶点集合 $V(g) = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 代表读写器集合, 边集 $E(g) = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 代表读写器之间的干扰, $e_i = (v_j, v_k)$. 图 G 定义了一个 $n \times n$ 阶矩阵 $D = (d_{ij})^{n \times n}$ 为读写器冲突关系矩阵, 它描述网络中读写器之间是否存在冲突. 当读写器 r_i 和读写器 r_j 之间具有冲突关系时, $d_{ij} = 0$; 当读写器 r_i 和读写器 r_j 之间无冲突可能时, $d_{ij} = 1$. 因此, 矩阵 D 是一个对称矩阵. 然后初始化 n 个读写器顶点的处理时间 $T(g) = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$.

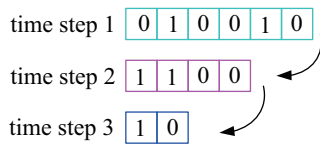


图 7 RFID 读写器网络调度的动态二进制编码结构
Fig.7 Dynamic binary coding structure of RFID reader network scheduling

(3) Parasitism PSO 算法初始化

设: parasite 种群规模 S^o 和 host 种群规模 S^r , 整个群体的信息交流拓扑结构 ζ , 最大迭代次数 T_{max} 和收敛精度 ξ , 最大速度和学习因子 c_1 、 c_2 和 c_3 . 随机给定粒子的初始位置与速度, 粒子的维度由当前 RFID 网络图 G 的节点数确定.

(4) 粒子的评估

对于每一个粒子, 计算其适应度函数值大小以检测其优化能力的好坏, 适应度函数由下式确定:

$$f(x) = w_1 n_1(x) + w_2 n_2(x) + w_3 n_3(x) + w_4 n_4(x) - P \quad (13)$$

其中, w_1, w_2, w_3, w_4 为对应各子目标函数的权值, 其取决于不同应用对于 RFID 网络的综合要求. 各子目标的意义如下:

$n_1(x)$: 使用当前时隙的读写器数量.

$n_2(x)$: 使用当前时隙的读写器组总处理时间, 可由下式计算:

$$n_2(x) = \max_{i=1:n_1(x)} (t_i) \quad (14)$$

$n_3(x)$: 使用当前时隙的读写器组的平均工作时间, 可由下式计算:

$$n_3(x) = \frac{1}{n_1(x)} \sum_{i=1}^{n_1(x)} t_i \quad (15)$$

$n_4(x)$: 使用其它时隙的读写器组与当前时隙读写器组的冲突数量和.

P : 惩罚函数, 当该时隙的读写器组不满足读写器冲突约束时, P 取极大值.

然后更新 parasite 种群的个体极值 p_i^o 和全局极值 p_g^o , 更新 host 种群个体极值 p_i^r 和全局极值 p_g^r .

(5) Parasitism PSO 粒子的进化

根据公式 (5)、(7) 分别进行 parasite 粒子和 host 粒子的速度更新, 根据公式 (3)、(4) 进行粒子的离散

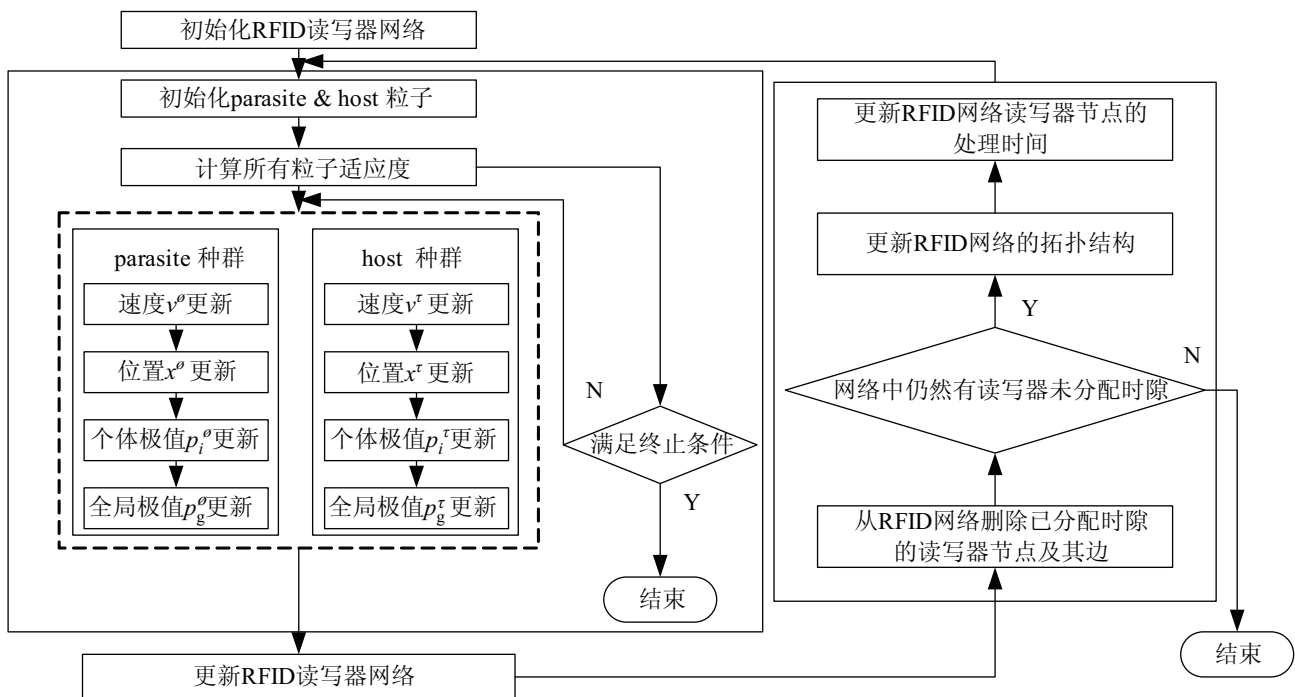


图 8 基于 Parasitism PSO 的 RFID 读写器网络调度算法流程图
Fig.8 Flowchart of RFID reader network scheduling based on Parasitism PSO

位置更新。如果当前的迭代次数达到了预先设定的最大次数 T_{\max} , 或最终结果小于预定收敛精度 ξ 要求, 则停止迭代, 输出最优解, 否则转到步骤 (4)。

(6) RFID 读写器网络更新

从 RFID 读写器网络图 G 中删除已分配时隙的读写器节点, 更新网络图 G , 重新初始化冲突关系矩阵 D 。如果网络中所有读写器都已经分配到时隙, 则终止迭代, 输出调度结果, 否则转到步骤 (3)。基于 Parasitism PSO 算法的 RFID 读写器网络调度算法流程图如图 8 所示。

3.2 实例仿真

本节将基于 Parasitism PSO 的 RFID 网络调度算法应用于 4 个不同规模的 RFID 读写器网络, 其规模分别为 30、60、120、200。每个读写器的处理时间在 $[0, 20]$ 区间内随机生成。为了验证算法的优越性, 与基于基本 PSO 的 RFID 网络调度算法进行了比较。

Parasitism PSO 与 PSO 算法的参数设置见 2.4 小节。针对不同规模的 RFID 网络, 两种算法的最大迭代次数分别设置为 30、60、150、200。

表 2 给出了 20 次试验两种算法的平均最好值, 其中 T_s 表示为 RFID 网络分配的时隙数, T_a 表示整个网络扫描一次的总处理时间。从表 2 中可以看出, 4 个 RFID 读写器网络实例中 Parasitism PSO 获得的最终解都要好于 PSO。特别是当读写器网络规模比较大时, Parasitism PSO 算法使得每个读写器具有更小的扫描间隔时间, 因而其读写器网络的时间利用率远远高于基本 PSO 算法。

表 2 Parasitism PSO 与 PSO 算法在 RFID 网络调度问题上的比较结果

Tab.2 Comparisons between Parasitism PSO and PSO algorithm on RFID network scheduling

Parasitism PSO		PSO	
T_s	T_a	T_s	T_a
30 readers RFID network			
12	153.2010	14	168.1706
60 readers RFID network			
17	201.4825	20	223.0195
120 readers RFID network			
26	338.0216	28	355.0752
200 readers RFID network			
32	448.9447	49	678.9375

4 结论 (Conclusion)

本文从生物学的角度提出了一种改进的粒子群算法 Parasitism PSO, 并将其应用于复杂工程优化问

题。Parasitism PSO 算法中将生物共生理论中的寄生机制引入到基本粒子群算法中, 将整个种群划分为 parasitism 种群与 host 种群; 通过定义单物种内协作与物种间竞争的信息交流拓扑结构以及行为机制, 既加快了算法的收敛速度, 又有效保持了整个种群的多样性, 从而在一定程度上克服了基本粒子群算法求解复杂优化问题时的早熟收敛和收敛精度差问题。然后, 本文构建了 RFID 网络调度模型, 并基于 Parasitism PSO 构建 RFID 网络调度算法。通过 4 个不同规模的 RFID 网络实例验证表明 Parasitism PSO 算法有足够的求解精度, 对于较大规模的实际 RFID 网络优化调度问题提供了有效的解决途径。与基于 PSO 的调度方法相比, Parasitism PSO 可以明显提高读写器的时间利用率, 仿真实验结果表明基于 Parasitism PSO 求解读写器网络调度问题更加可靠和高效。

参考文献 (References)

- [1] Watson R A, Pollack J B. How symbiosis can guide evolution[C]//Proceedings of the Fifth European Conference on Artificial Life. Berlin, Germany: Springer, 1999: 29-38.
- [2] Frank S A. Models of symbiosis[J]. American Naturalist, 1997, 150(1): 80-99.
- [3] Kallis G. When is it coevolution?[J]. Ecological Economics, 2007, 62(1): 1-6.
- [4] Daida J M, Grasso C S, Stephen A S, et al. Symbioticism and complex adaptive systems I: Implications of having symbiosis occur in nature[C]//Proceedings of the 5th Annual Conference on Evolutionary Programming. Berlin, Germany: Springer, 1996: 177-186.
- [5] Liang J J, Suganthan P N, Qin A K, et al. Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 281-295.
- [6] Eberchart R C, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Proceedings of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1995: 39-43.
- [7] Eberchart R C, Kennedy J. Particle swarm optimization[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1995: 1942-1948.
- [8] Han S Y, Choi Y, Iwai M, et al. Development of a dynamic collision avoidance algorithm for indoor tracking system based on active RFID[J]. KSII Transactions on Internet and Information Systems, 2010, 4(5): 736-752.
- [9] Wang C G, Daneshmand M, Sohraby K. Optimization of tag reading performance in generation-2 RFID protocol[J]. Computer Communications, 2009, 32(11): 1346-1352.
- [10] Huang H P, Chang Y T. Optimal layout and deployment for RFID systems[J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, 25(1): 4-10.
- [11] Chen H N, Zhu Y L, Hu K Y. Multi-colony bacteria foraging optimization with cell-to-cell communication for RFID networks planning[J]. Applied Soft Computing, 2010, 10(2): 539-547.

(下转第 577 页)

- [7] Harting Mitronics, Inc. RFID transponders [EB/OL]. (2009-05-12)[2011-12-10]. <http://www.harting-mitronics.ch/>.
- [8] Myung J, Lee W, Shih T K. An adaptive memory-less protocol for RFID tag collision arbitration[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2006, 8(5): 1096-1101.
- [9] Cha J, Kim J. Dynamic framed slotted ALOHA algorithms using fast tag estimation methods for RFID system[C]//*IEEE Consumer Communications and Networking Conference*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 768-772.
- [10] Vaidya N, Das S R. RFID-based networks-exploiting diversity and redundancy[J]. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2008, 12(1): 2-14.
- [11] Rahmati A, Lin Z, Hiltunen M, et al. Reliability techniques for RFID-based object tracking application[C]//*37th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 282-286.
- [12] Bolotnyy L, Krize S, Robins G. The practicality of multi-tag RFID systems[C]//*International Conference on Enterprise Information System*. Madeira, Portugal: *International Workshop of RFID Technology*, 2007: 342-347.
- [13] Bolotnyy L, Robins G. The case for multi-tag RFID systems [C]//*International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 235-239.
- [14] Engels D W, Sarma S E. The reader collision problem[C]//*IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002: 4-6.
- [15] Parikh P, Zeid I, Kamarthi S, et al. Analysis of communication between RFID tags and their reader using statistical simulation model[J]. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 2008, 32(2): 128-134.
- [16] Hoyland A, Rausand M. System reliability theory: Models and statistical methods[M]. New York, USA: John Wiley & Sons, 1994.
- [17] 丁开盛, 张学渊, 梁雄健. 通信网可靠性的定义及其综合测度指标 [J]. *通信学报*, 1999, 20(10): 75-78.
- Ding K S, Zhang X Y, Liang X J. The definition and general measuring indicator on reliability of communications network[J]. *Journal of Communications*, 1999, 20(10): 75-78.
- [18] Zhen B, Kobayashi M, Shimizu M. To read transmitter-only RFID tags with confidence[C]//*IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 396-400.
- [19] Balanis C A. *Antenna theory – Analysis and design*[M]. 3rd ed. New York, USA: Wiley, 2005.
- [20] Na Y, Kim J, Kang K. Design of a 2.45GHz passive transponder using printed dipole antenna for RFID application[C]//*2004 IEEE Region 10 Conference*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 547-549.
- [21] Jeffery S R, Alonso G, Franklin M J, et al. A pipelined framework for online cleansing of sensor data streams[C]//*IEEE International Conference on Data Engineering*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 140-150.
- [22] Cao X H, Xiao H B. Propagation prediction model and performance analysis of RFID system under metallic container production circumstance[J]. *Microelectronics Journal*, 2011, 42(2): 247-252.

作者简介:

胡圣波 (1964-), 男, 博士, 教授. 研究领域为航天测控通信, 物联网及其应用.

司兵 (1962-), 男, 学士, 高级工程师. 研究领域为工业控制, 物联网及其应用.

(上接第 570 页)

- [12] Shi Y, Eberhart R C. Empirical study of particle swarm optimization[C]//*Proceedings of the World conference on System, Cybernetics and Informatics*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2000: 1995-1950.
- [13] Clerc M. Binary particle swarm optimisers: Toolbox, derivations, and mathematical insights[EB/OL]. (2005-02-02)[2012-

07-20]. <http://clerc.maurice.free.fr/psso/>.

作者简介:

高政威 (1976-), 男, 博士生. 研究领域为生物启发式计算方法及其应用.