

基于混合粒子群的 RFID 网络的优化部署*

刘 快, 纪志成

(江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 在 RFID 网络系统中, 贴有标签的物品可能随机地布置着, 针对如何有效地放置阅读器, 使得阅读器可以读取多个标签信息同时减小冲突的问题, 建立了 RFID 网络系统的优化模型, 提出了一种混合粒子群算法来优化部署阅读器的位置。实验结果表明, 混合粒子群算法分别比传统的粒子群(PSO)和遗传算法(GA)在收敛速度和寻优能力上具有更好的性能, 体现出混合粒子群算法的优越性。

关键词: 射频识别网络; 混合粒子群算法; 粒子群算法; 遗传算法; 部署; 优化

中图分类号: TN92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1326-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.034

RFID network deployment based on hybrid particle swarm optimization

LIU Kuai, JI Zhi-cheng

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

Abstract: In RFID network, things labeled with tags may be arranged randomly. This paper proposed a hybrid particle swarm optimization algorithm and an optimization model of RFID network system to solve the problem of how to place readers, so that the readers could effectively get the information of multiple tags and reduce collision at the same time. The simulation results show that the high efficiency of hybrid PSO algorithm in solving RFID network optimizing capacity and convergence rate in comparison with PSO and GA, and demonstrate the superiority of hybrid PSO.

Key words: RFID(radio frequency identification) network; hybrid PSO; particle swarm optimization(PSO); genetic algorithms(GA); deployment; optimization

1 RFID 网络的介绍

RFID(射频识别)是一种利用射频通信实现非接触式的自动识别技术,它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。RFID 技术无须人工干预,可以工作于各种恶劣环境,且避免接触,操作方便^[1~3]。

RFID 主要是由电子标签、阅读器、应用系统组成。电子标签和阅读器之间通过无线射频技术进行非接触双向数据传输,再将信息传到应用系统。RFID 网络是指能够支持 RFID 系统运作的 EPC 网络^[4]。RFID 网络系统具有异构、随机部署、自组织、网络节点资源有限、网络拓扑经常发生变化、可扩展性、成本低、标签的计算能力和能量有限、环境复杂等特点。RFID 网络规划不仅要求网络比较节能,而且对网络的覆盖质量和连通性也有一定的要求^[5~7]。本文提出了用遗传算法来进一步优化粒子群算法的混合粒子群算法来优化网络资源的分布,在保证负载均衡的前提下,使得阅读器有较高的读取率。

2 RFID 网络优化模型

在 RFID 网络中,电子标签的位置具有随意性,使用尽可能少的阅读器来读取标签的信息,同时对减少阅读器与阅读器、阅读器与标签之间的冲突,对 RFID 网络具有重要意义。

为了简化 RFID 网络模型,假设 RFID 网络所处的区域为一个二维的矩形平面 A。网络由 m 个阅读器和 n 个电子标签

组成,根据文献[8]中的阅读器模型,设阅读器的读取范围为半径为 R 的圆,并且所有的阅读器都相同。RFID 网络优化模型应满足如下两方面问题:

a) 阅读器对标签的覆盖问题。在 RFID 网络系统中,阅读器对标签的覆盖率是 RFID 网络优化问题的重要指标之一。覆盖率的好坏直接影响到 RFID 网络的规模 and 成本。RFID 网络覆盖率的性能指标用 f_1 表示: $f_1 = \sum_{i=1}^n c_i$ 。其中 c_i 表示第 i 个电子标签的覆盖率。

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{reader}_i \neq \emptyset \\ 0 & \text{reader}_i = \emptyset \end{cases}$$

$\text{reader}_i = \bigcup_{j=1}^m \{s_j \mid d_{ij} \leq R, s_j \in N\}$, m 为 RFID 网络中阅读器的个数, n 为标签数。 f_1 的值越大,说明阅读器对标签的覆盖率越大。

b) RFID 网络的负载均衡问题。在阅读器数量比较密集的 RFID 网络中,可能会出现某个标签的信息同时被许多阅读器读取,而另外一个标签没有被阅读器读取。这样常会出现阅读器与阅读器之间的冲突,导致信息的漏读或误读,影响到 RFID 网络的可靠性和高效性。因此应设定性能指标来保证每个阅读器读取标签的数量比较接近,使得负载均衡。本文用 f_2 表示 RFID 网络的负载均衡^[9~11]: $f_2 = \prod_{i=1}^n \frac{1}{k_i}$ 。其中: k_i 表示读取第 i 个标签的阅读器个数,即 $k_i = \text{reader}_i$ 。 f_2 将读取每个标签

收稿日期: 2011-09-03; 修回日期: 2011-10-12 基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET-10-0437)

作者简介: 刘快(1988-),女,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为无线传感网的优化部署(liukuai07@126.com);纪志成(1959-),男,教授,博导,主要研究方向为无线传感网、风力发电。

的阅读器个数的倒数作连乘,可以使每个标签的负载比较均衡。 f_2 的函数值越大,负载分配得越均衡。

综上,为了同时保证 RFID 网络覆盖率和负载平衡的性能指标,将优化模型的目标函数表示为

$$f = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (1)$$

其中: $w_1 + w_2 = 1$, w_1 和 w_2 分别表示覆盖率和负载平衡的权重。

3 混合粒子群算法

3.1 混合粒子群算法的基本思想

粒子群算法中,一个群体可以看做由 m 个粒子组成的,在 D 维搜索空间中以一定的速度飞行,每个粒子在搜索时,考虑到了自己搜索到的历史最好点和群体内其他粒子的历史最好点,在此基础上进行位置(状态,即解)的变化。第 i 个粒子的位置表示为 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$,第 i 个粒子的速度表示为 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$,第 i 个粒子经历的历史最好点表示为 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$,群体内所有粒子经过的最好点表示为 $P_g = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})$ 。粒子的速度和位置按照式(2)进行变化^[12]:

$$v_{iD}^{k+1} = \omega v_{iD}^k + c_1 \text{rand}() \times (p_{iD}^k - x_{iD}^k) + c_2 \text{rand}() \times (p_{gD}^k - x_{iD}^k) \quad (2)$$

$$x_{iD}^{k+1} = x_{iD}^k + v_{iD}^{k+1} \quad (3)$$

其中: ω 称为惯性权重,其大小决定了对粒子当前速度继承的多少,合适的惯性权重可以使粒子具有均衡的探索和开发能力; c_1 、 c_2 称为学习因子或加速系数,一般为常数,学习因子具有自我总结和向群体中优秀个体学习的能力,从而向自己的历史最优值以及群体内的历史最优值靠近; $\text{rand}()$ 为 $[0, 1]$ 的随机数。

为了使粒子在搜索过程中加大全局搜索能力,按照文献[13]中的方法设计惯性权重因子为

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{N} i \quad (4)$$

其中: N 为最大迭代次数, i 为当前迭代次数。

粒子群算法可以保持历史最优解和全局最优解,但易陷入局部最优解。虽然 PSO 收敛快、效率高,但也存在精度较低、易发散等缺点。若加速系数、最大速度等参数设置得太大,粒子群就可能错过最优解,造成算法不收敛。

遗传算法是根据适者生存、优胜劣汰等自然进化规则进行搜索计算和问题求解的。遗传算法是将问题的解编码成染色体组,然后对其进行选择、交叉、变异等操作。其中,变异是对种群中的部分个体实施随机变异,与种群的历史状态和当前状态无关。在进化的初期,变异有助于局部搜索和增加种群的多样性;在进化后期,种群基本趋于稳定,变异反而会破坏这种稳定。变异概率过大会使遗传算法的收敛速度减慢,变异概率过小又会使搜索过程缓慢甚至停滞不前^[7]。

遗传算法和粒子群算法都有各自的特点和优势,但也有自身的缺陷和不足。因此将两者结合起来,充分利用不同算法的各自优势,取长补短研究它们之间的混合算法。Shi 将遗传和粒子群算法通过并联和串联的方式混合起来,提出了两种混合算法;Settles 提出了一种自适应的基于遗传和粒子群的混合算法。本文提出的混合粒子群算法有效地利用了遗传算法中的选择、交叉等机制,并结合粒子群算法的寻优思想,使得粒子群的性能有了很大的提高。在粒子每次飞行寻找新位置时,当迭

代次数小于一定值时,就以一定的交叉概率和变异概率对粒子群的位置作进一步的优化,增加了粒子群解的多样性,防止迭代到一定程度,粒子群陷入局部最优;在迭代后期,为了保证解的稳定性和收敛性,则不必对粒子进行交叉、变异。

3.2 混合粒子群算法的设计

本算法的流程如图 1 所示。

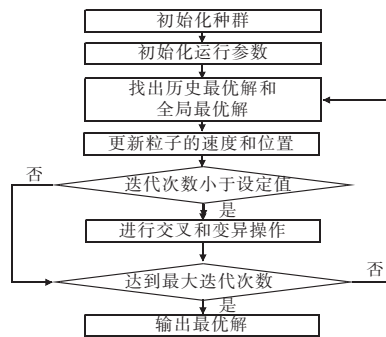


图 1 混合粒子群算法流程

以式(1)作为目标函数,设计的具体步骤如下:

a) 初始化种群。设定如下参数:种群规模、最大迭代次数 N 、变量个数、交叉概率 p_c 、变异概率 p_m 。

b) 判断是否满足最大迭代次数,若不满足,则转入步骤 c)。

c) 选取式(1)中的目标函数作为适应度函数,计算每个粒子的适应值,按照式(4)对惯性权重调整。

d) 对于每个粒子,将其适应值与所经过的最好位置的适应值比较,若更好,则将其作为粒子群的个体历史最优解,用当前位置更新个体历史最好位置。

e) 对每个粒子,将其历史最优适应值与群体内的最好位置的适应值进行比较,若更好,则将其作为当前的全局最优位置。

f) 根据式(2)和(3)对粒子的速度和位置进行更新。

g) 当迭代次数小于某一设定值时,转入步骤 h); 否则转入步骤 j)。

h) 产生一个随机数,当随机数小于交叉概率 p_c ,则进行交叉操作;否则,转入步骤 j)。

i) 产生一个随机数,当随机数小于变异概率 p_m ,则进行变异操作;否则,转入步骤 j)。

j) 转向步骤 b)。

4 实例仿真

4.1 混合粒子群算法的优化仿真

本文使用 MATLAB 7.1 对 RFID 网络进行仿真。工作区域为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的正方形,其中随机分布 50 个电子标签。使用 9 个阅读器对 RFID 网络中的标签进行数据采集。当迭代次数小于 200 次时,则进行交叉和变异操作。设电子标签和阅读器之间的通信及能量感应方式为电磁反向散射耦合,工作频率为 433 MHz;设阅读器的感知范围为圆形^[14],取感知半径 $R = 5 \text{ m}$ ^[8]。参数如表 1 所示。

表 1 参数设定

参数										
	N	$\omega_{\max}$	$\omega_{\min}$	$V_{\max}$	c_1	c_2	p_c	p_m	ω_1	ω_2
值	500	0.9	0.3	5	2	2.2	0.65	0.05	0.7	0.3
种群大小	150									

运行 20 次取平均最好值的仿真结果^[16,17],如图 2 分别表

示的混合粒子群算法对 RFID 网络的仿真。

4.2 与其他算法的比较

为了进一步验证混合粒子群算法的有效性,将本算法分别与 GA 和 PSO 进行比较。图 3 是 GA 对 RFID 网络的优化仿真,图 4 是 PSO 对 RFID 网络的优化仿真。

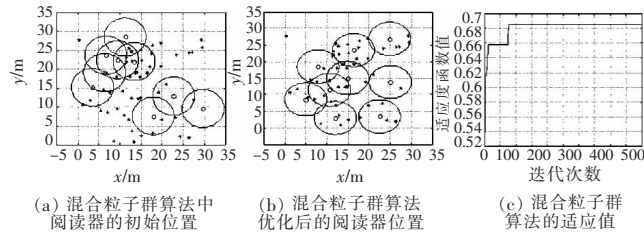


图2 混合粒子群算法对 RFID 网络的优化

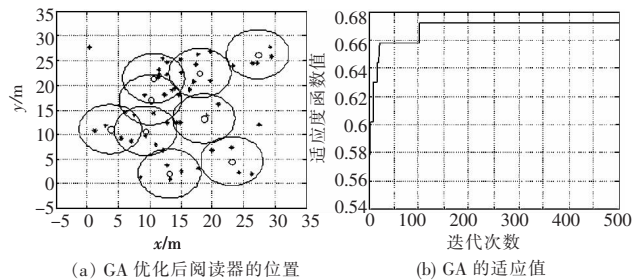


图3 GA 对 RFID 网络的优化

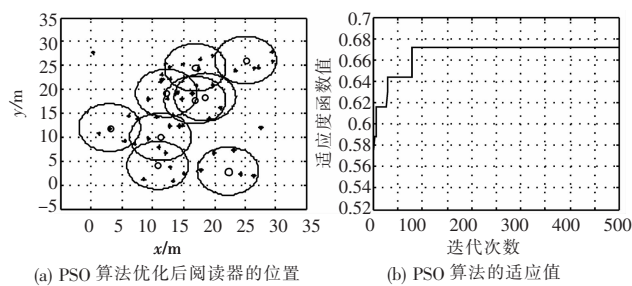


图4 PSO 算法对网络的优化

当阅读器的个数分别取不同值时,三种算法分别运行 20 次,得到的平均最优适应值及迭代次数如表 2 所示。

表2 不同算法的适应值及迭代次数

次数	GA	PSO	混合粒子群算法
9	0.672(102)	0.672(80)	0.686(77)
12	0.686(80)	0.686(57)	0.686(33)
15	0.686(44)	0.686(22)	0.7(13)

从仿真结果可以看出,在相同的条件下,混合粒子群算法的适应值最大或迭代次数最少,即混合粒子群算法的优化效果最好。由于随着迭代次数的增加,惯性权重 ω 逐渐减小,使粒子继承了较少的原方向的速度,从而飞行较近具有较好的探索能力。但粒子群的搜索能力下降了,随着迭代次数的增加,容易陷入局部最优解。而混合粒子群算法在每次迭代时,根据一定的概率在粒子群中选取一定数量的粒子,使其随机两两进行繁殖,产生相应数目的子代粒子,并用子代粒子代替父代粒子,使种群规模保持不变,交叉操作和子种群操作可以使粒子受益于父母双方,增强搜索能力,易于跳出局部最优;混合粒子群算法的变异操作以一定的变异概率,对部分粒子的位置进行变化,因而增强了该算法的优化能力。

5 结束语

本文用遗传算法对传统的粒子群算法进行改进,由于随着迭代次数的增加,传统粒子群算法的搜索能力逐渐下降,易陷

入局部最优。混合粒子群算法在传统的粒子群算法进行每次迭代更新的时候,加入交叉和变异的操作。当随机数小于交叉和变异概率的时候,才进行交叉和变异。这样既不影响粒子群的收敛速度,又可以避免粒子在局部最优解周围飞行而陷入局部最优解。通过仿真并与其他算法进行比较,从而说明了混合粒子群算法的收敛速度和寻优能力的有效性和优越性。

参考文献:

- [1] DECKER C, KUBACH U, BEIGL M. Revealing the retail black box by interaction sensing[C]//Proc of the 23rd International Conference on Digital Object Identifier. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003:328-333.
- [2] KIM D S, SHIN T H, PARK J S. A security framework in RFID multi-domain system [C]//Proc of the 2nd International Conference on Availability, Reliability and Security. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007:1227-1234.
- [3] 游战清, 李苏剑. 无线射频识别技术(RFID)理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004:31-40.
- [4] ZHANG Ding-yi, ZHU Yun-long, CHEN Han-ning. An algorithm for deployment of RFID readers in EPC network[C]//Proc of the 4th International Conference on Digital Object Identifier. 2008:1-4.
- [5] WANT R. An introduction to RFID technology[J]. IEEE Pervasive Computing, 2006, 5(1): 25-33.
- [6] HAN M K, PAIK I W, LEE B H, et al. A framework for seamless information retrieval between an EPC network and a mobile RFID network [C]//Proc of the 6th International Conference on Computer and Information Technology. Washington DC: IEEE Computer Society, 2006: 98.
- [7] GUAN Qiang, LIU Yu, YANG Yi-ping, et al. Genetic approach for network planning in the RFID systems[C]// Proc of the 6th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Washington DC: IEEE Computer Society, 2006:567-572.
- [8] RAHMAN F. Towards secure and scalable tag search approaches for current and next generation RFID systems[D]. Wisconsin: Marquette University, 2010.
- [9] CHEN Han-ning, ZHU Yun-long, HU Kun-yuan. RFID networks planning using a multi-swarm optimizer[C]//Proc of Chinese Control and Decision Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009:3548-3552.
- [10] GIAMPAOLO D E, FORNI F, MARROCCO G. RFID-network planning by particle swarm optimization[C]//Proc of the 4th European Conference on Antennas and Propagation. 2010:1-5.
- [11] CHEN Han-ning, ZHU Yun-long, HU Kun-yuan, et al. Application of a multi-species optimizer in ubiquitous computing for RFID networks scheduling[C]//Proc of the 3rd International Conference on Natural Computation. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007: 420-425.
- [12] 张可村, 李换琴. 工程优化方法及其应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007:83-90.
- [13] 汪定伟, 王俊伟, 王洪峰, 等. 智能优化方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007:102-120.
- [14] 王永华. 超高频 RFID 多读写器部署与协调技术研究[D]. 广州: 中山大学, 2009.
- [15] 陈瀚宁, 朱云龙, 胡琨元. 基于多种群共生进化的 RFID 网络优化[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2008, 9(5): 413-416.
- [16] 向西西, 黄宏光, 李予东. 基于粒子群算法的混合无线传感器网络覆盖优化[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(6): 2273-2275.