

遗传算法在森林防火预警网络中的应用^①

王 焱, 单欣欣

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

摘 要: 将遗传算法进行改进并应用于无线传感网络的优化设计中, 根据森林的实际环境建立合适的数学模型, 并在此基础上给出适应度函数和传感器网络的组网策略。当有异常情况发生, 能够准确及时的发出警报, 并发出位置信息。针对遗传算法容易进入局部最优解的误区, 把模拟退火算子加入遗传算法, 同时基于以往的交叉概率和遗传概率的选取不当给寻优结果带来的很大影响, 本文在寻优过程中动态的调整了交叉概率和变异概率。MATLAB 仿真结果表明: 改进的遗传算法提高了算法的寻优速度, 克服了局部收敛的误区, 优化了无线传感网络的能量使网络的生命周期达到最长。

关键词: 遗传算法; 无线传感网络; 适应度函数; 网络优化

Application of Genetic Algorithms to the Forest Fire Warning Network

WANG Yan, SHAN Xin-Xin

(College of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: The genetic algorithm was improved and applied to the optimization design of wireless sensor network, according to the actual environment of forest to establish an appropriate mathematical model, and on this basis the fitness function and the sensor network strategy was given. When anomalies occur, this algorithm can accurately and timely issue alerts and position information. For the genetic algorithm is easy to enter the errors of the local optimal solution, the simulated annealing operator join in the genetic algorithm, also based on the past, selected Crossover probability and Genetic probability of improperly, brought a significant impact to the optimization results, in this paper, in the optimization process dynamically adjust the crossover probability and mutation probability. MATLAB simulation results show that the improved genetic algorithm improved Algorithm optimization speed, overcome the local convergence of the errors, optimized Wireless sensor networks energy to achieve the longest life cycle of the network.

Keywords: genetic algorithms; wireless sensor networks; fitness function; network optimization

1 引言

遗传算法作为一种启发式搜索算法, 具有全局收敛性和并行性, 适用性广, 并要求较少的先验知识, 现在已广泛应用于优化、模式识别等方面^[1]。特别是在特殊环境的监测中, 本文以全天候预防监测森林火灾为目的, 根据森林环境特点, 将自适应遗传算法应用于森林防火无线传感网络的优化设计中。

森林火灾对森林资源和生态环境的破坏所造成的损失是难以估量的。森林火灾因为常常处在深山老林中, 不易发现, 故而发现火灾对于早扑灭火灾具有重

要意义。因此森林防火的发展方向是如何实现森林防火的智能化, 信息化, 第一时间预报灾情以达到及时扑灭的效果。

已有的森林火灾自动预警系统虽然技术可靠, 但大多成本太高, 这些难以满足我国森林资源监测的实际需要。现阶段比较成熟的小型无人机监控预警系统也存在着人机操作交互性差和抗风抗乱气流能力差等缺点, 因此利用无线传感网络, 将各节点安置在环境恶劣, 地势险峻的偏远地区, 对茂密的森林进行全天候的监测, 当有异常情况发生时, 及时通知监测人员,

^① 收稿时间:2010-09-12;收到修改稿时间:2010-10-04

会大大降低森林火灾的发生率,减少对国家的财产、资源和人员的生命安全带来的严重损失和伤害。

针对无限传感网络的首要制约问题即能量问题,研制了无线传感网络的组网模式。给无限传感网络更换电池是很麻烦的,如何才能使网络的能源消耗最低且达到整体平均消耗是优化网络的关键所在^[2]。之前的研究表明遗传算法能够很好的解决无限传感网络中能源优化问题,但在实际应用中常出现收敛过慢、稳定性差及早熟现象等问题^[3],针对此类问题,本文将模拟退火算法作为一个算子加入遗传算法,并针对交叉概率和变异概率进行改进,提出了一种根据适应度值自动调整交叉概率和变异概率的动态遗传算法。实验结果表明,该算法能够达到更快的收敛速度,克服局部收敛的误区,在收敛快速性和稳定性等方面都有了明显的改善,达到了预期效果。

2 无线传感网络组网

假设森林为一个矩形网络,将无线传感网络的各节点看成分布于 10×10 网络相邻距离为1的组网策略。网络中形成多个簇,为保证其连通性采用单跳簇结构通讯协议。网络中的节点共有四种工作模式:簇头模式(CH),高功率发射模式(HS),低功率发射模式(LS),休眠模式(DOM)。普通节点只于自己簇中的簇头节点通信,簇头节点收集簇中各节点信息传递给基站。

簇头节点处理的信息比一般节点多得多,而且传输的距离也比一般节点远,因此消耗的能量也比一般节点多得多。高功率发射节点较低功率发射节点也消耗更多的能量。在不影响网络通信的基础上少部分节点以休眠状态工作,达到节省能量的目的。网络中簇头节点,高功率发射节点,低功率发射节点以及休眠节点在满足网络连通性的基础上以能量为基准,进行调整,以保证能量的平均消耗。

3 网络优化的具体实现

遗传算法包括编码机制、适应度函数确立、遗传算子和控制参数的选择等几部分组成。寻优过程有以下三个步骤:1)首先随机产生初始种群;2)其次遗传算法对整个种群实行全局寻优;3)最后再利用模拟退火算法的局部搜索能力对种群中的个体进行优化调整。

本设计中采用二进制编码的方式对节点可能的四

种状态进行编码:休眠节点(00),低功率发射节点(01),高功率发射节点(10),簇头节点(11)。在选择算子的选取上采用轮盘选择策略。

3.1 选择算子的选取

设计中采用轮盘选择算子,个体被选中并遗传到下一代的概率与其适应度值的大小成正比。

3.2 遗传算子的选取

遗传算子包括交换算子和突变算子,交换算子有多种形式,设计选用单点交换方式,即从群体中随机取出两个字符串,随机确定交叉点,将两个串的右半段互换再重新连接得到两个新的串。突变算子是改变字符串的某个位置上的字符。即0与1的互换:0突变为1,1突变为0。

针对现有自适应遗传算法容易产生局部最优解的现象,本文采用每代种群中的最大适应度值,最小适应度值和平均适应度值这三个变量来衡量种群适应度值的集中程度。使交叉概率和变异概率随着种群的进化动态的进行调整,自适应的增大和减小交叉概率和变异概率。同时保证了种群中最大适应度值个体的交叉概率和变异概率不为零,使得它们不会处于一种近似停滞不前的状态,从而使算法跳出局部最优解^[4,5]。

3.2.1 交叉算子的选取

本设计采用的自适应的改变交叉概率的方法,能自适应的控制搜索过程,把性能较好的解赋予较低的交叉概率,把低于平均适应度的解给予较高的交叉概率。并能根据适应度的集中程度自适应的调整参数。按照当代种群适应度值的分布情况,本文提出了交叉概率的公式对交叉概率进行自适应调整^[6]。

$$P_c = \begin{cases} \frac{p_{c1}(f_{avg}-f') + p_{c2}(f'-f_{min})}{f_{avg}-f_{min}} & f' < f_{avg} \\ \frac{p_{c2}(f_{max}-f') + p_{c3}(f'-f_{avg})}{f_{max}-f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \end{cases} \quad (1)$$

其中 f_{max} 是种群中最大的适应度值; f_{avg} 是每代种群的平均适应度值; f_{min} 是种群中最小的适应度值; f 是要交叉的两个个体中较大的适应度值。 $p_{c1} > p_{c2} > p_{c3}$ 取(0,1)区间上的值。根据公式可得出交叉概率 P_c 的变化情况如图1。

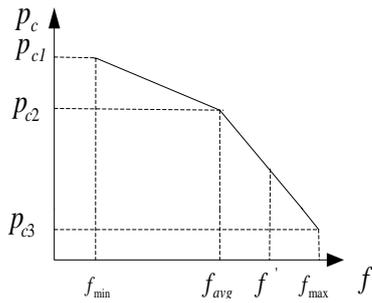


图1 自适应的交叉概率 P_c

3.2.2 变异算子的选取

在遗传算法中，虽然变异操作的概率很小，但是它在优化过程中起到非常重要的作用，它对产生优良个体的作用是不能忽略的。变异算子的大小直接关系到算法的收敛程度和全局寻优性能。

$$P_m = \begin{cases} \frac{p_{m1}(f_{avg}-f)+p_{m2}(f-f_{min})}{f_{avg}-f_{min}} & f < f_{avg} \\ \frac{p_{m2}(f_{max}-f)+p_{m3}(f-f_{avg})}{f_{max}-f_{avg}} & f \geq f_{avg} \end{cases} \quad (2)$$

其中 f_{max} 是种群中最大的适应度值； f_{avg} 是每代种群的平均适应度值； f_{min} 是种群中最小的适应度值； f' 是要交叉的两个个体中较大的适应度值。

$p_{m1} > p_{m2} > p_{m3}$ 取 $(0, 1)$ 区间上的值。根据公式可得出交叉概率 P_m 的变化情况如图 2。

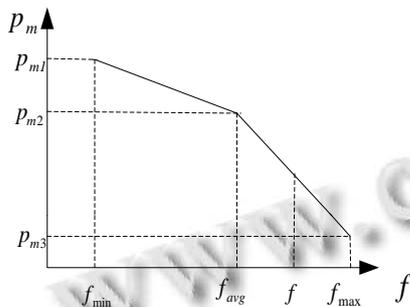


图2 自适应变异概率 P_m

3.2.3 模拟退火算子的选取

模拟退火算法是模拟熔化状态下物体由逐渐冷却至最终达到结晶状态的物理过程。一般先选择一个较大的初始温度 T_0 ，然后使温度徐徐降低，在每一个温度阶段，系统的能量都要达到平衡状态，使其达到最小值。模拟退火算法作为遗传算子全局搜索的基本思路，是将选择交叉和变异后的模型参数看作是熔化物体的

每一个分子，将目标函数看作是熔化物体的能量函数，通过迭代优化，得到使目标函数达到极小的优化群体。退火时，使用线性模式即

$$T_{k+1} = \alpha T_k \quad (3)$$

式中 α 为退火系数^[7]。

3.3 适应度函数的确立

经过对无线传感网络模型的构造，找出其中较为重要的几种参数来构成适应度函数，由多目标函数混合成单个目标函数，各种参数结合到一起形成一个满足要求的适应度函数。本设计中为了加快搜索速度，对目标函数进行非线性加速，本设计中网络的目标函数表示如下：

$$f(x) = a_0 \times DSE + a_1 \times CHE + a_2 \times FC + a_3 \times SCE + a_4 \times SOR + a_5 \times OE + a_6 \times CE + a_7 \times BCP \quad (4)$$

最终适应度函数为：

$$Fit(f(x)) = \frac{1}{(1+f(x)^2)} \quad (5)$$

其中部分参数构造参照了文献[8]。下面分别介绍各参数。

3.3.1 节点个数误差

本设计中休眠节点比例被假设为总节点数的 10%。休眠节点误差 (DSE) 参考文献[7]。

$$DSE = \begin{cases} \frac{nde}{n} & nde > 0 \\ 0 & nde \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中， $ndom$ 休眠节点数量； n 节点的总数； $nde = ndom - n * 0.1$ 。

除此之外，在无线传感网络中，因为簇头节点消耗的能量较其他节点消耗的能量要多得多，所以就要在满足网络连通度的基础上尽可能的减少簇头节点的个数。本次设计中簇头节点的个数被假设为总节点数的 13%。簇头节点个数误差

$$CHE = \begin{cases} \frac{nche}{n} & nche > 0 \\ 0 & nche \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中， nch 簇头节点数量； n 节点的总数； $nche = nch - n * 0.13$ 。

3.3.2 连通性参数

1) 节点覆盖率(FC)

$$FC = \frac{nch + nhs + nls - nout - ndom}{n} \quad (8)$$

式中, nch 簇头个数; nhs 高功率发射节点个数; nls 低功率发射节点个数; $nout$ 超限节点个数。

2) 簇中节点个数误差

簇头的物理特性决定每个簇头能够处理的数据和与簇中节点通信的能力是有一定极限的, 本设计中假定一个簇最多可以有 10 个节点^[9]。

$$SCE = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{nfull} n_i}{nfull} & nfull > 0 \\ 0 & nfull \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中, $nfull$ 簇中超过 10 个节点的簇的个数; n_i 第 i 个簇中节点的个数。

3) 超限节点误差(SORE)

超限节点误差(SORE)可以确保每个节点能与它的簇头进行通讯。这取决于节点的信号通信能力^[8]。超过该节点的覆盖区域, 视为超限节点。

$$SORE = \frac{nout}{n - nodm} \quad (10)$$

3.3.3 能量参数

网络的总体能量消耗(OE)、通讯能量损耗(CE)以及电池惩罚值(BCP)的选取参考文献[8]。

$$OE = 20 \frac{nch}{n} + 2 \frac{nhs}{n} + \frac{nls}{n} \quad (11)$$

$$CE = 16\sqrt{2}nhs + \sqrt{2}nls \quad (12)$$

网络中不同的节点在不同的工作状态消耗的能量是大不相同的, 为了使网络工作能够时间达到最长, 同一节点不能一直工作在高消耗的状态下, 因此加入电池惩罚值 BCP 来影响节点下一周期工作状态, 从而使网络工作时间达到最长。

$$BCP_i^{[t]} = \sum_{i=1}^{ngrid} PF_i^{[t]} \left(\frac{1}{BC_i^{[t]}} - 1 \right) \quad (13)$$

$$BC_i^{[t]} = BC_i^{[t-1]} - BRR_i^{[t-1]} \quad (14)$$

式中, BC_i 是第 i 个节点根据先前的网络测量周期 $t-1$ 中的运行模式而校正; $BCP[t]$ 是在测量周期 t 的电池容量惩罚。 $ngrid$ 是网络中可用传感器节点的总数。 $PF_i[t]$ 是分配给节点 i 的处罚因子。 $BC_i[t]$ 和 $BC_i[t-1]$ 是节点 i 在测量周期 t 和 $t-1$ 的电池容量, 他的值取在 0 和 1 之间^[10]。 $BRR_i[t-1]$ 是电池消耗速率, 它取决于节点 i 在测量周期 $t-1$ 的运行模式并对应减少的电池能量。在这

里, 不同运行模式的节点能量消耗表示如下: 簇头模式为 0.04, 高信号模式为 0.004, 低信号模式为 0.002, 休眠模式为 0。

适应度函数中参数的重要性是通过设置适当的加权系数 $a_i, i=1,2,3,\dots,7$ 来确定的, 经过反复的仿真对权重值进行缩小、放大最终得到权重系数见表 1。

表 1 权重系数

a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7
850	100	-50	100	9000	85	0.2	1

4 MATLAB仿真实验

在遗传算法的控制参数的选取中, 通过多次试验, 为使其达到最佳效果本设计节点个数为 100, 每个节点用两位二进制码表示, 所以串长为 200。多次实验表明种群大小为 100 个个体时, 能达到最优性能, 即适应度值达到最大。

实验表明, 在遗传算法运算 500 代后, 遗传算法的最佳个体的适应度曲线和整个种群的平均适应度曲线达到理想状态如图 3。可以看出: 由于整个进化过程交换算子和突变算子根据适应度值的大小而自适应的改变, 克服了选择交叉概率和变异概率的盲目性, 使种群在很短的时间内达到最优, 寻优效果更好^[11]。

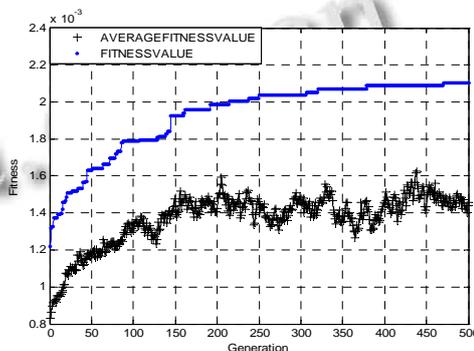


图 3 最优个体与平均适应度函数值

图 4 的通讯能量曲线为系统通信时所消耗的能量, 从图中可以看出, 在达到一个峰值之后曲线平稳的下降。

图 5 为在 500 代中各节点工作情况的数目统计曲线, 可以看出最终簇头节点的数目保持在 12 个左右。高功率节点的数目不断减少, 低功率工作的节点数目不断增加, 从而保证了网络的能量的优化。

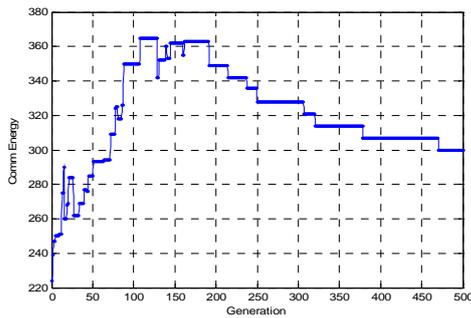


图4 通讯能量损耗参数

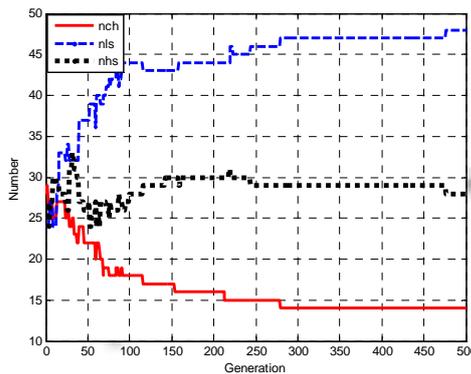


图5 各节点工作状态

图6为15个周期100个节点电量的消耗情况,可以看出100个节点的电量消耗比较平均没有节点有过多的能量消耗,因为是在15个周期,所以依然存在几个节点稍有不平均的情况。但总体上实现了网络的能量优化,达到了预期的效果。

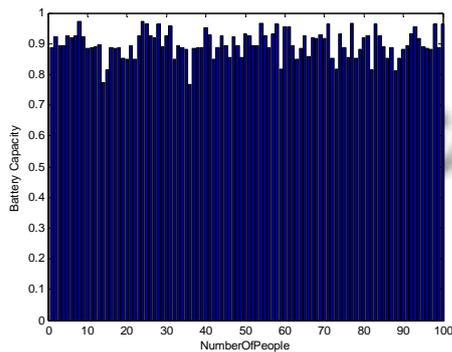


图6 15个周期各节点电池电量剩余

5 结语

本文采用改进的遗传算法应用于森林防火预警系统的无线网络优化设计中,根据实际环境构建无限

传感网络的模型。将模拟退火的思想融入遗传算法,同时动态的调整交叉概率和变异概率,使算法具有较强的全局收敛性并且以较快的速度达到收敛^[12,13]。仿真结果表明改进后的遗传算法保证了在森林防火预警无线传感网络中节点的耗电趋于最低,最终使网络中各节点能量达到平衡,使无线传感网络生命周期达到最长。

参考文献

- 1 王玉良.基于 MATLAB 的遗传算法可视化仿真系统研究.计算机系统应用,2004,13(10):41-43.
- 2 李欣.自适应遗传算法的改进与应用[硕士学位论文].南京:南京信息工程大学,2008.
- 3 孙红艳,王英博.一种改进的小生境遗传聚类算法.计算机系统应用,2010,19(2):37-40.
- 4 Bessaou M, Slarry P. A genetic algorithm with real-value coding to optimize multimodal continuous functions. Struct Multidisc Optim, 2001,23(1):63-74.
- 5 何宏,钱锋.遗传算法参数自适应控制的新方法.华东理工大学学报,2000,32(5):601-606.
- 6 闰妍.一种新的自适应遗传算法[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- 7 胡其志.基于模拟退火算法的边坡稳定性分析.湖北工业大学学报,2009,24(5):1-4.
- 8 Wang Y, Sun YM, Yu BQ, Ma Y. The Optimization of Wireless Sensor Networks in the Open-pit Mine Slope Detection Base on Quantum Genetic Algorithms. The 1st International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE 2010). June 25-27, 2010, Wuhan, China. 2010.
- 9 周明,孙树栋.遗传算法原理及应用.北京:国防工业出版社,2002.105-189.
- 10 唐焕文,秦学志.实用最优化方法.第3版.大连:大连理工大学出版社,2004.149-244.
- 11 徐磊,武坤.基于遗传算法的多目标 QoS 多播路由算法.电脑与信息技术,2006,14(6):12-15.
- 12 许义海,李晓东.一种快速寻优的新型改进遗传算法.中山大学学报(自然科学版),2006,45(2):36-40.
- 13 张思才,张方晓.一种遗传算法适应度函数的改进方法.计算机应用与软件,2006,23(2):108-110.