

自适应遗传算法在场强传播损耗预测中的应用

杨 云,冯 亚

(陕西科技大学 电气与信息工程学院,陕西 西安 710021)

摘 要: 针对移动通信场强传播损耗预测中统计模型的精度问题,通过将已有的统计模型转化为目标函数优化问题,提出了一种基于自适应遗传算法的场强传播损耗预测的方法.该方法对自适应遗传算法中的交叉算子和变异算子进行改进,既克服了简单遗传算法中早熟、精度低等问题,又大大提高了搜索速度.将其运用到实际场强传播损耗预测中,实验结果表明该方法不仅收敛速度快,而且显著提高取得全局最优解的能力,在场强传播损耗预测中取得了较好的效果.

关键词: 自适应遗传算法;传播预测;Hata 模型;交叉变异

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)11-0121-03

Application of Adaptive Genetic Algorithms in Field Strength Propagation Prediction

YANG Yun, FENG Ya

(College of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: By translate statistical model into the objective function optimization problem, a new method of field strength propagation prediction based on adaptive genetic algorithm, aimed at the problem of accuracy of statistical model is put forward. The improved adaptive genetic algorithm was proposed on the basic of the existing adaptive genetic algorithm to improve crossover operator and mutation operator, to avoid the premature problem and the slow convergence of simple genetic algorithm (SGA). The results presented in the field strength propagation prediction demonstrate that the new genetic algorithm is a superior algorithm.

Key words: adaptive genetic algorithm; propagation prediction; Hata model; crossover and mutation

1 引言

随着移动通信的高速发展,移动用户的爆炸式增长以及单用户话务量的提高,使得现有的频率资源对移动通信发展的制约越来越大,这对移动通信信号的覆盖控制的精度提出了要求,有效的覆盖控制有赖于较高精度的移动通信场强传播损耗预测.所以,移动通信场强传播损耗预测的研究对于有效利用频率资源提高网络质量有着重要的意义.

国内外对移动通信场强传播损耗预测的研究提出了很多方法,如适用于大区制的 Okumura 模型及适用于微蜂窝移动网络结构的射线跟踪法等,但

些方法在预测精度及效率等方面都还有较大的提升空间.文中将自适应遗传算法进行改进并应用于场强传播损耗预测中,减小了预测误差,取得了令人满意的效果.

2 目标函数的建立

场强传播路径损耗是描述平均接收信号电平随基站和移动台之间的距离变化而衰减的情况.现有的传播损耗预测方法可分为确定性模型和统计模型.由于移动通信信道是随参信道,变化迅速,同时受外界传播环境影响极大,因此确定性预测算法,远远不能够满足场强传播损耗的实际预测,而且统计模型计算的是闭式公式,预测方法简单,故通常采用

基于统计方法的场强损耗预测模型^[1].

常用的统计模型以 Okumura 模型、Hata 模型以及 COST231-walfish-Ikegami 模型比较典型^[2]. 结合现有的传播方法,并考虑发射天线高度、接收天线高度、载波频率以及发射接收天线间的距离对传播损耗的影响,文中以 CCIR (即国际电信联盟,ITU) 推荐的 Hata 模型对应的方程为基础,将场强传播损耗预测转化为目标函数优化问题.具体步骤如下:

(1) Hata 模型中值路径损耗的基本公式^[1]:

$$L_{ccir} = 69.55 + 26.16 \lg f_c - 13.82 \lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \lg d \quad (1)$$

其中

L_{ccir} : 中值路径损耗,为发射功率与接收功率之差,(单位为 dB);

f_c : 150 ~ 1500 MHz 内的工作频率;

h_b : 基站发射机的有效天线高度,定义为天线相对海平面高度 h_{ts} 减去距离从 3 km 到 15 km 之间的平均地面高度 h_{ga} . 如图 1 所示,适用范围 30 ~ 200 m;

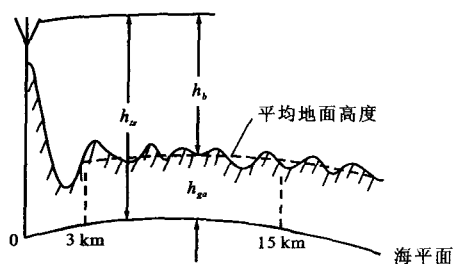


图 1 基站天线有效高度(h_b)

h_m : 移动台接收机的有效天线高度(单位为 m, 适用范围 1 ~ 10 m);

d : 基站和移动台的距离(单位为 km, 适用范围 1 ~ 20 km);

$a(h_m)$: 移动台接收机的有效天线高度的修正因子(单位为 dB). 对于小城市和中等城市:

$$a(h_m) = (1.1 \lg f_c - 0.7) h_m - (1.56 \lg f_c - 0.8) \quad (2)$$

对于大城市:

$$a(h_m) = 8.29 (\lg 1.54 h_m)^2 - 1.1 \quad (3)$$

$f_c \leq 300 \text{ MHz}$

$$a(h_m) = 3.2 (\lg 11.754 h_m)^2 - 4.97 \quad (4)$$

$f_c \geq 300 \text{ MHz}$

(2) 将实数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 替代式(1)中的常数(26.16、13.82、44.9、6.55、69.55), 则

$$L_{ccir} = K_1 \lg f_c - K_2 \lg h_b + (K_3 - K_4 \lg h_b) \lg d - a(h_m) + K_5 \quad (5)$$

令 $K_0 = K_5 - a(h_m)$, y 为传播路径损耗, 则

$$y = K_0 + K_1 \lg f_c - K_2 \lg h_b + K_3 \lg d - K_4 \lg h_b \lg d \quad (6)$$

(3) 对指定小区的一次测量中, 载频 f_c 、发射天线高度 h_b 、接收天线高度的值可认为是确定的. 因此, 距离发射天线 d 处的实际测量点, 利用式(6) 计算得到的传播损耗为:

$$\hat{y} = K_0 + K_1 \lg f_c - K_2 \lg h_b + K_3 \lg d - K_4 \lg h_b \lg d \quad (7)$$

(4) 将 k_0 、 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 作为待定系数, 运用自适应原理中的最小均方误差构造代价函数如下:

$$e = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (8)$$

其中 y_i 表示与 $\hat{y}_i$ 对应的实际测量中得到的场强传播损耗中值, N 为测量值的总数, e 为均方误差. 将式(7)代入式(8)可得:

$$e = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^N [(k_0 + k_1 \lg f_c - k_2 \lg h_b + k_3 \lg d - k_4 \lg h_b \lg d) - y_i]^2 \quad (9)$$

(5) 将场强传播损耗预测问题转换为在某些约束条件下, 运用遗传算法, 对代价函数进行优化, 从而寻找符合问题要求的最优解. 由于对指定小区进行一次测量时, 载频 f_c 、发射天线高度 h_b 、接收天线高度的值可认为是确定的, 则式(9) 中的 $\lg f_c$ 、 $\lg h_b$ 是常数. 故代价函数可改写为:

$$e = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^N [(X_0 + X_1 \lg d) - y_i]^2 \quad (10)$$

其中 $X_0 = K_0 + K_1 \lg f_c - K_2 \lg h_b$, $X_1 = K_3 - K_4 \lg h_b$. 因此, 可建立目标函数如下:

$$\text{目标函数: } \min F(X) = \sum_{i=1}^N [(X_0 + X_1 \lg d) - y_i]^2 \quad (11)$$

约束条件: $X_0, X_1 \in (0, 200)$, 由实际情况决定.

3 遗传算法的改进

遗传算法^[3] 又称简单遗传算法 (Simple Genetic Algorithm, SGA), 由美国 Michigan 大学 J. Holland 教授于 1975 年首先提出, 是通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法. Srinvas 提出的自适应算法 (AGA), 是在简单遗传算法的基础上, 对于求解最小值问题, 将交叉算子 P_c 和变异算子 P_m 分别按式

(12) 进行自适应调整:

$$p_c = \begin{cases} k_1(f_{\max} - f')/(f_{\max} - f_{\text{avg}}), & f' \geq f_{\text{avg}} \\ k_2, & f' < f_{\text{avg}} \end{cases}$$
$$p_m = \begin{cases} k_3(f_{\max} - f)/(f_{\max} - f_{\text{avg}}), & f \geq f_{\text{avg}} \\ k_4, & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (12)$$

其中, $f_{\max}$ 是群体中的最大适应度值, f' 是要进行交叉的两个个体中的较大适应度值, f_{avg} 是每一代群体的平均适应度值, f 是要将进行变异的个体适应度值. 只须将 k_1, k_2, k_3, k_4 设定为 0 至 1 之间的任意值, 就可以进行自适应调整. 然而, 由于优势个体在进化初期常常处于不变的状态, 大大增加了进化走向局部最优解的可能性^[4].

由于影响自适应遗传算法运行收敛的主要因素是交叉算子 p_c 和变异算子 p_m , 为了提高运行效率, 降低进化走向局部最优解的可能性, 分别将交叉算子和变异算子进行改进, 表达式如式(13)所示. 其中, 远离最优值的个体, 交叉算子 p_c 和变异算子 p_m 的取值相对较大, 这样可以提高搜索速度; 而接近最优值的个体, 交叉算子 p_c 和变异算子 p_m 的取值则相对较小, 这样可以降低收敛于局部最优解的可能性. 构造的自适应遗传算子为:

$$p_c = \begin{cases} p_{c1} + \frac{p_{c1} - p_{c2}}{2} \cos\left(\frac{f' - f_{\text{avg}}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} \pi\right), & f' \geq f_{\text{avg}} \\ p_{c1}, & f' < f_{\text{avg}} \end{cases}$$
$$p_m = \begin{cases} p_{m1} + \frac{p_{m1} - p_{m2}}{2} \cos\left(\frac{f - f_{\text{avg}}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} \pi\right), & f \geq f_{\text{avg}} \\ p_{m1}, & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (13)$$

其中 $p_{c1}, p_{c2}, p_{m1}, p_{m2} \in (0, 1)$.

改进后的自适应遗传算子, 在变异个体适应值大的区域, 值比较大; 中间区域可迅速变化; 而变异个体适应值小的区域, 值也比较小, 但是不直接趋向于零. 这样在保证不破坏适应值大的个体的同时, 也对适应值小的个体采用了较高的交叉率, 这样不仅大大提高空间搜索能力, 而且提高了种群中表现优良个体的交叉率和变异率, 从而获得优化的全局最优解.

4 自适应遗传算法传播损耗预测

4.1 染色体的编码与评价

传统的遗传算法通常采用二进制编码, 但是二进制编码不能完全反应预测问题中的结构特征^[1], 故本文将要操作的二进制编码串进行变换, 求其对应的格雷码. 这样可以保证个体之间编码串的某一

位差异其对应的参数值差别很细微, 从而便于对连续的目标函数进行局部空间搜索.

与简单遗传算法相同, 随机产生初始种群. 将优化的目标函数 $F(X)$ 作为染色体评价的基本依据, 适应度函数定义为:

$$f_{\text{fit}}(X) = X_{\max} - F(X) \quad (14)$$

其中 $X_{\max}$ 是目标函数的最大值估计. 由目标函数和自适应遗传算法可知, 目标函数 $F(X)$ 越小, 对应的染色体越优良, 最终的优化结果将输出种群中满足要求的优良染色体.

4.2 算法的主要步骤

- (1) 初始种群随机产生, 初始种群的规模数是 4, 最大遗传代数是 100, 目标函数中 $N = 200$;
- (2) 计算种群中各个个体的适应值, 找出种群中的最优个体;
- (3) 采用轮盘赌的方法对初始种群中的个体进行选择 and 复制操作;
- (4) 根据改进的自适应遗传算法, 对随机产生的 4 个个体进行两点交叉操作, 交叉率由式(13)中的 p_c 确定, 交叉后的最优个体将以概率 1 保留至下一代;
- (5) 根据改进的自适应遗传算法, 对个体进行变异操作, 变异率由式(13)中的 p_m 确定, 变异后的最优个体也以概率 1 保留至下一代;
- (6) 若校验数据误差平方和小于某一个指定值, 同时, 循环次数满足种群进化代数的要求, 则整个算法终止, 输出结果, 否则, 返回步骤(2).

5 实验结果及分析

文中基于统计方法的场强传播损耗预测模型, 运用了现代优化改进算法. 通过对自适应遗传算法进行改进来计算预测方程, 对西安市的某小区进行了场强损耗预测, 并得到了传播预测曲线(如图 2 所

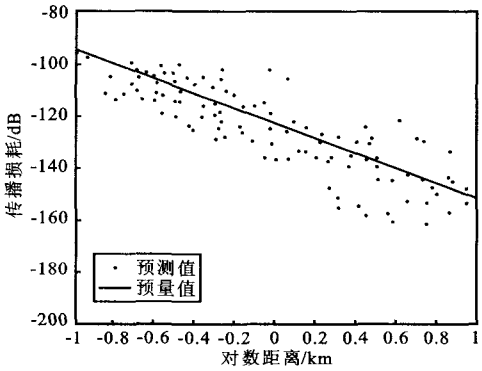


图 2 场强传播损耗预测结果

初始权重系数,并且可以在路由器运行时动态地分配权重,以保证达到所规定的实时性要求.从仿真结果可以看出设计能够正确实现预期功能,达到了SpaceWire 路由器中仲裁器的设计要求.

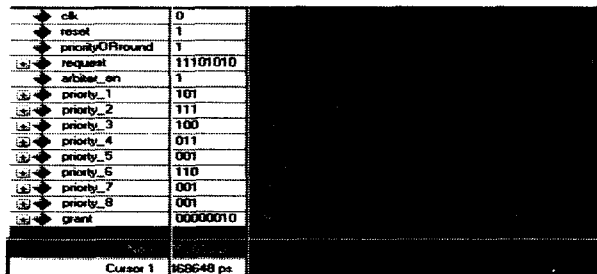


图4 仲裁模块仿真波形

6 结束语

文中提出动态加权轮询仲裁算法的目的在于:用户可以根据网络总线上不同的有效载荷实时性和数据传输量的需求,给路由器端口分配基础权重,以此保证高实时性有效载荷能够优先发送数据;同时避免了高优先级端口独占发送端口的现象.该算法不仅能应用于SpaceWire 路由器中,而且配合适当的控制逻辑,就可以应用于其它的有类似需求的队列处理事务中.采用了“动态加权轮询仲裁器”的SpaceWire 路由器产品正在设计开发中.

参考文献:

- [1] ECSS - E - 50 - 12A, Space Engineering: SpaceWire: Links, node, routers and networks[s]. European Space Agency, 2003:81 - 95.
- [2] Lan Julong, Wang Binqiang, Li Ou, et al. A scheduling algorithm using compensating round robin in packet - swtching broadband networks[J]. Journal of Electronics, 2002(19):139 - 145.
- [3] 杨晓强,高晔. NoC 系统设计的研究[J]. 微电子学与计算机,2008,20(7):176 - 179.
- [4] 张帆,曲晶,杨少波. 基于FPGA 的轮询合路的设计和实现[J]. 微计算机信息,2005,21(8/2):93 - 95.
- [5] 王涛. 一种可综合的轮转仲裁控制器设计[J]. 微电子学与计算机,2003,20(9):73 - 75.
- [6] 扈红超,伊鹏,郭云飞,等. 一种公平服务的动态轮询调度算法[J]. 软件学报,2008,19(7):56 - 64.
- [7] 余林琛,廖小飞. 一种新的应用层对等路由机制的研究[J]. 微电子学与计算机,2008,21(9):102 - 104.

作者简介:

李硕佳 男,(1983-),硕士研究生.研究方向为IC设计及SOC技术、实时嵌入式软件.

王剑峰 男,(1971-),博士,研究员.研究方向为IC设计及SOC技术.

王竹平 男,(1963-),研究员,硕士生导师.研究方向为空间计算机设计、自动测试技术、计算机冗余容错技术、实时嵌入式软件.

(上接第123页)

示)和预测标准差,标准差为7.05dB.实验结果表明,使用改进的自适应遗传算法来进行场强传播损耗预测是非常有效的.同简单遗传算法相比,自适应遗传算法具有搜索速度快,收敛精度高等优点.

6 结束语

文中根据已有的场强传播损耗模型,将其转化为目标函数优化问题,运用自适应遗传算法寻求其全局最优值.算法中通过改进交叉算子和变异算子,使得杂交后代朝着有利于算法收敛的方向进行,并且使进化前期有明显的变异,而后期则趋于稳定状态,从而提高了收敛速度,并获得了全局最优解.实验结果表明,文中提出的方法进行场强传播损耗预测得到了较为满意的结果,在移动通信网络规划和优化中有着良好的应用前景.

参考文献:

- [1] 王少尉.移动通信场强传播损耗预测算法研究[D].武汉:武汉大学,2004.
- [2] 钟翠明.移动通信常用天线传播模型预测方法浅析[J].江西通信科技,2005(7):29 - 32.
- [3] 英海燕,王友波.基于自适应遗传算法的模板匹配研究[J].微电子学与计算机,2008,25(1):163 - 165.
- [4] 吴涛,毕笃彦.一种基于改进遗传算法的自适应区域生长法研究[J].微电子学与计算机,2008,25(4):90 - 92.

作者简介:

杨云女,(1965-),教授.研究方向为移动通信网络优化、数据仓库与数据挖掘.

冯亚女,(1985-),硕士研究生.研究方向为移动通信网络优化.