

小生境遗传算法在天线方向图中的优化

程 晨

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要:车载动中通是指地球站系统在行驶的车中实现卫星通信,由于其实时运动的特性,导致在实际应用中,要求系统以最短的时间、最高的精度找到目标卫星信号最强的点,即 AGC 信号强度最大的点。一般情况下,由地球站系统所在的当地经度和纬度以及目标卫星经度,根据理论公式能够计算出对应卫星场强最大点。但是由于一些其他因素的影响,如当地天气、温度、湿度以及其他不可忽略的干扰因素,导致找到的目标点在旁瓣而非在主瓣,旁瓣信号强度低,无法满足通信要求。简单介绍了卫星通信的基本原理,以及一般情况下,根据理论公式计算的卫星场强最大点的推导过程,重点描述了自适应的小生境遗传算法实现多峰全局函数的最优寻解以及该算法在卫星通信中的应用。其中遗传算法是仿照自然界生物进化理论中优胜劣汰过程的一类寻找最优解方法。实践证明,该方法有很好的实用性。

关键词:动中通;卫星天线;小生境遗传算法;自适应交叉

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)01-0147-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.01.033

Optimization of Niche Genetic Algorithm in Antenna Pattern

CHENG Chen

(College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract:Car mobile communications system refers to the realization of satellite communications earth station in a moving vehicle, since the real-time motion characteristics, the system is needed to find the target point with strongest satellite signal, which is the point of maximum AGC signal strength. In general, according to local longitude and latitude for the earth station system and longitude of the target satellite, the corresponding points with maximum satellite field strength can be calculated by the theoretical formula. However, due to some other factors, such as local weather, temperature, humidity, and other confounding factors, the target point is found in the side lobe and not in the main lobe, and side lobe signal strength is low, which cannot meet the communication requirements. The basic principles of satellite communication is introduced briefly, and under normal circumstances, according to the derivation of the maximum point of the satellite field theory formula, the niche genetic algorithm is focused to describe the implementation of adaptive multimodal global function to find the optimal solution and algorithm in satellite communication. The genetic algorithm is a kind of method to find the optimal solution modeled on the natural biological process in evolution theory of survival of the fittest. Practice has proved that it has good practicability.

Key words: motion; satellite antenna; niche genetic algorithm; adaptive crossover

0 引 言

在卫星通信中,地球站由自己所在经纬度,和同步轨道卫星所在的经度,可以计算出理论的方位角和俯仰角,从而进行对星操作。但是在实际工作环境下,由于仪器的制作误差、天气、温度、湿度等客观因素,实际的功率方向图与理论推导计算出来的值存在一定偏差。当误差较大时,由理论计算出来的位置并不一定能达到方位图主瓣区域,往往徘徊在旁瓣盲寻^[1]。此

时,若能够以最快速度找到主瓣值,减少对星时间,将大大提高系统性能。

所以可以把实际问题等价求连续多峰函数全局最优解的数学理论问题,规定目标迭代次数最少、收敛最快为最优。在最优化方法论中,包括遗传算法、Newton 法、爬山算法、模拟退火算法、目标规划法等^[2]。根据实际应用场景,采取小生境遗传算法。实践证明,该算法能够较大地提升系统寻星速度,找到方

收稿日期:2016-03-10

修回日期:2016-06-15

网络出版时间:2017-01-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271234)

作者简介:程 晨(1990-),男,硕士研究生,研究方向为卫星通信技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170104.1028.052.html>

向图中主瓣最高点(即全局最大点)。

1 卫星通信的基本原理

卫星通信网络的简单链路如图 1 所示,它由地面段和空间段组成,通信链路分为上行链路和下行链路。上行链路即地球站发射微波信号所使用的链路,下行链路即目标卫星向地球站发射微波信号所使用的链路,为了使各频段相互平行,互不干扰,故使用不同的频段加以区分。该动中通地球站进行通信传输时均以 Ku 波段为载体,整个频率范围为 12 ~ 18 GHz,上行链路所使用的频段为 14 ~ 14.5 GHz,下行链路所使用的频段为 12.25 ~ 12.75 GHz。

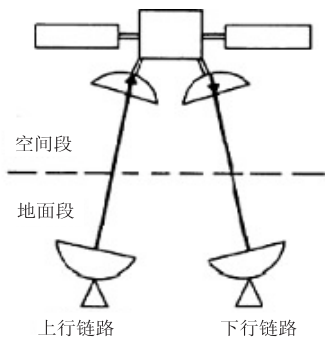


图 1 空间段与地面段示意图

2 天线方向图

天线方向图是指在离天线一定的距离处辐射场的相对场强随方向变化的图形,通常以球坐标系 θ 和 φ 的函数来表示场和功率的大小。当方向图以功率来衡量,则此时的方向图等效于功率图。由于该系统在实际应用中所测得的数据是以功率为基准,所以后续所指的方向图均是功率图。

若在坐标中心原点处,用天线的矢量长度代表在各个方向上的辐射功率强度,则三维空间中的所有矢量坐标点围成的包络就是方向图,它表示天线在任何一点上产生的电磁波信号的大小。方向图由不同的连续波瓣组成,其中最强的电磁波辐射强度波瓣叫做主瓣,剩余按强度排序为第一旁瓣、第二旁瓣等。

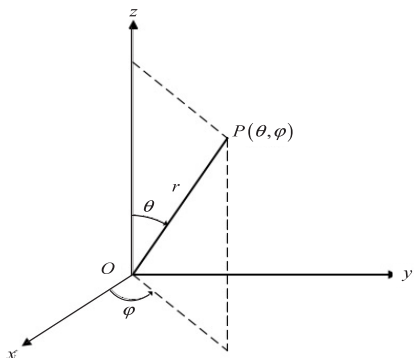


图 2 天线功率方向图的球坐标系

方向图不仅适用于球坐标系,也适用于三维直角坐标系。但一般为了保持和地球模型相匹配,多数情况会选择在球坐标系中实现。假定天线在坐标原点处, P 点为空间任意一点,其所处位置由 θ 和 φ 所处位置的功率决定,即原点到 P 的半径 r 正比于该方向 θ 和 φ 上的功率。

极坐标下的磁场强度归一化方向图如图 3 所示(将任意一点的磁场强度值除以最大值的模量即可得到归一化)。默认设最大值为 1。

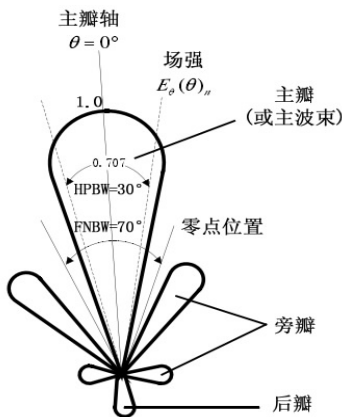


图 3 归一化方向场强方向图

电场归一化公式为:

$$E_{\theta}(\theta, \varphi)_n = \frac{E_{\theta}(\theta, \varphi)}{E_{\theta}(\theta, \varphi)_{\max}} \quad (1)$$

半功率点定义为:

$$E_{\theta}(\theta, \varphi)_n = (1/2)^{1/2} = 0.707$$

方向图中两个极为重要的参量分别为半功率点和第一零点。

3 自适应小生境遗传算法

传统的遗传算法在多个峰值函数求极值的情况下,往往找到的是局部极值,并非全局最优,同时由于迭代次数较多导致求解该问题的时间较长^[3]。遗传算法模拟小生境的方法主要有如下几种:基于预选择的小生境实现方法、基于排挤的小生境实现方法、基于共享函数的小生境实现方法^[4]。文中主要采取基于排挤机制且交叉和变异概率可自适应的小生境算法。算法流程如图 4 所示。

3.1 个体编码

众所周知,定长的二进制序列能表示该长度所能涵盖范围精度的所有浮点数。在实际工作环境中,车载动中通系统的方向图采样是以最强能量信号处为中心,规定方位或俯仰在水平方向上变化 $\pm 10^\circ$,扫描时间 12 s 由频谱仪测得^[5]。一般情况下,理论得出的方位角与俯仰角所对准的方位,基本能够定位在主瓣信号范围处,实际与理论两者偏差不大。偶尔也会由于

一些不可控因素的影响,对准到旁瓣信号。由于信号很小的区域不在考虑范围之内(因为理论根本走不到此处),所以实际情况下已经筛选掉部分信号幅度较小的区域,从而区间范围仅限以样本为中心,满足包含几个较大的副瓣即区间即可^[6]。选取计算样本范围在 $[-8, 8]$ 之间。实际测量中对角度的精确要求到小数点后两位,由于区间长度为 $8 - (-8) = 16$,为满足精度要求,故需要把区间 $[-8, 8]$ 分为 16×10^1 等份。又因为: $128 = 2^7 < 16 \times 10^1 < 2^8 = 256$,所以编码的 L 长度需要8位才能满足精度要求。把一个 n 位二进制序列 $(b_0 b_1 \cdots b_{n-1})$ 对应到区间内十进制形式需要通过以下转换操作。

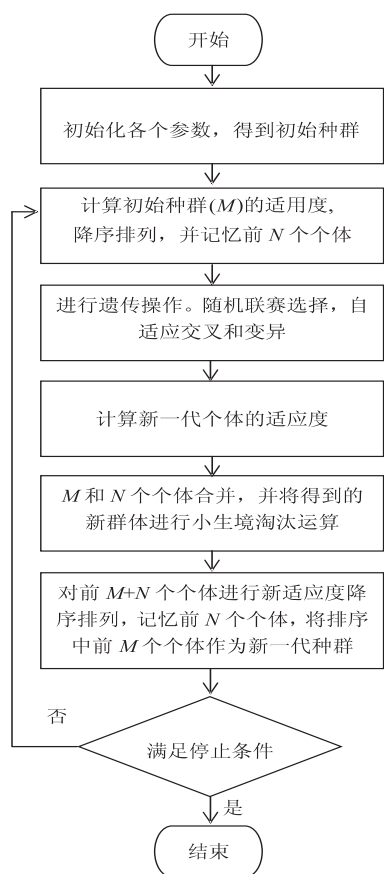


图4 小生境遗传算法流程图

二进制与十进制转换公式:

$$(b_0 \cdots b_8 b_9)_2 = \left(\sum_{i=0}^7 b_i \cdot 2^i \right)_{10} = x' \quad (2)$$

对应区间内的实数:

$$x = -8 + x' \cdot \frac{8 - (-8)}{2^8 - 1}$$

例如:一个长度为8的编码序列 $[10010101]$ 与 -3.3 相互对应。

$$x' = (10010101)_2 = 149$$

$$x = -8 + 149 \cdot \frac{8}{2^8 - 1} = -3.3 \text{ (四舍五入)}$$

所以此序列长度 $L=8$,样本区间的最小值和最

大值分别用 $[00000000]$ 与 $[11111111]$ 量化。

3.2 适应度

生物学家为了描述衡量某一物种在特定的生活环境中的适应程度,引入了适应度来量化同一物种的不同个体在自然环境中对种群的繁殖和进化的度量标准。适应度较高的个体对于适应度较低的个体,将有更多的机会繁衍,也即将自己的特征传给后代。与此类似,在遗传算法中也通过引入适应度来计算种群趋于个体最优的计算参数之一^[7]。

3.3 选择

选择本身参照了一定物种特点的指标,与生物进化论中的“优胜劣汰”理论异曲同工。选择本身不是产生下一代,而是产生前一代与下一代的中间群体,即过渡群体。文中采用随机联赛的选择方式^[8]。每次从群体中随机抽取两个个体区间中的样本进行适应度对比,将适应度较高的个体作为父类遗传给下一代^[9]。如此重复 N 次,即得到子代群体中的 N 个样本区间个体。因为适应度高的样本不断得到保留和繁殖,适应度低的样本数目逐渐减少趋于灭绝,进而通过选择改变了群体样本整体的适应度。

3.4 交叉

通过交叉行为可以生成新的样本,进一步可以检测出规定区间范围内新的样本点。该操作每次作用于以 p_c 的概率从中间群体随机抽取的个体上。文中采取非均匀的单点算数交叉的方法^[10]。具体做法如下:

(1)以概率 p_c 随机从群体中抽取一部分样本个体,并对这些个体进行配对操作。

(2)在 $1 \sim (L-1)$ 中产生一个任意数值 j ,以位置 j 作为交叉位置。

(3)对已经选取的两个个体,互相交换对应第 $j+1$ 位置的数字,即

$$\begin{cases} X_A^{t+1} = aX_B^t + (1-a)X_A^t \\ X_B^{t+1} = aX_A^t + (1-a)X_B^t \end{cases} \quad (3)$$

其中, a 的大小是由进化代数决定, $a = \frac{T-t}{T}$, T 是最大的迭代次数, t 是当前的迭代次数。

3.5 变异

变异操作是作用于以变异概率 p_m 随机地从样本群体中选择出的个体上,以新的基因段 x'_k 代替原有的个体样本基因序列段 x_k ,新个体基因为 $X = x_0 x_2 \cdots x_k \cdots x_{l-1}$,变异后的基因为:

$$x'_k = U_{\min} + r(U_{\max}^k - U_{\min}^k) \quad (4)$$

其中, $[U_{\min}^k, U_{\max}^k]$ 为选中的变异样本 x_k 的取值范围; r 为满足 $[0, 1]$ 范围内的符合均匀分布的一个随机数。

变异主要有两个目的:提高遗传算法对局部最优

解的搜索能力和维持样本群体基因的多样性^[11]。

3.6 淘汰

规定以汉明距离计算公式来代表同代样本经个体编码后的距离,公式如下:

$$\|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=0}^{L-1} (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, M + N - 1, j = i + 1, i + 2, \dots, M + N) \quad (5)$$

其中, L 代表样本个体浮点数编码长度,若两者之间的汉明距离小于预先规定门限值,即 $\|X_i - X_j\| < l$ (l 为规定的门限值),即将罚函数作用于适应度较小的个体, $F_{\min}(x_i, x_j) = \text{Penalty} = 10^{-30}$ 。经过罚函数的处理后,其适应度变得更小,加速了其淘汰,减少了计算量^[12],从而被淘汰的几率也就更大。

3.7 保留最优

每一代筛选进化的过程中,要始终保留前 N 个适应度最大的样本直接将它们保留到下一代种群样本中^[13]。该策略可以让适应度较高的个体样本不会因为交叉、变异等操作的干扰使其适应度减小或者趋于被淘汰,这是该算法进一步加快收敛的主要方式。具体的实现方法是:当执行完一代的筛选操作后,将样本按照适应度的大小降序排序,保留前 N 个适应度较大的样本,全部作为下一代群体中的样本,并不执行选择、交叉、变异中的任何操作。

3.8 自适应交叉

小生境遗传算法中交叉能够避免陷入局部最优的境地,群体中任何一个样本都有均等的概率被交叉,当适应度高的个体和适应度低的个体交叉后,产生了适应度低于父代样本的子代,那么经过此番操作群体并没有得到优化^[14]。当然在进化开始阶段希望交叉概率越大越好,能够扩大样本的区间范围。而在进化后期,由于群体整体已经具有较大的适应度,为了尽量避免一定的破坏性,进化后期希望交叉概率越小越好^[15]。所以在此提出了自适应交叉的概念。

$$P_c(i) = P_c (1 - i/n)^{1/2} \quad (6)$$

其中, $P_c(i)$ 表示第 i 个样本的交叉概率, i 与样本个体的适应度成正比; n 为群体规模; P_c 为开始规定的交叉概率,在此取 0.7。

由图 5 可知, i 越大,交叉概率越小。文中采取自适应方案,在设定的进化代数前期(进化代数 $t < 65\%T$),以固定交叉概率进行样本交叉,根据 d 决定是否停滞(d 代表同一最优个体持续的进化代数),当 d 大于某一值时,例如 $10\%T$,则进化停滞。把经过变异后的个体和原来样本群体进行排序,复制适应度较高的个体到下一代中。在进化后期($t \geq 65\%T$),带入上述交叉公式,以此概率作为最新的交叉概率重复此操作。万方数据

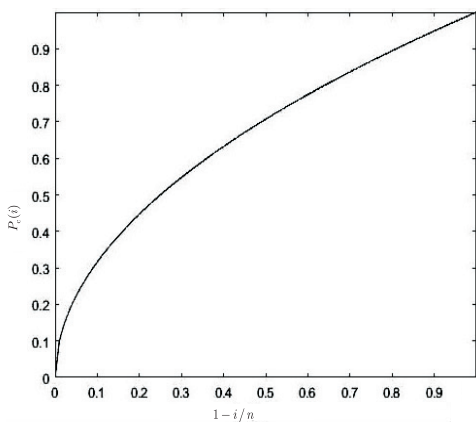


图 5 交叉概率函数图

3.9 自适应变异

一般情况下,小生境遗传算法的变异概率理论值在 0.05 ~ 0.1 之间,取值较小^[16]。与交叉行为类似,变异情况发生在每个样本个体的概率均是相同的。在进化初期,样本群体具有较小的适应度,若以较小的变异概率变异,相对应变异出较大适应度的概率也降低,这并不利于种群的进化。在进化后期,群体一般具有较高的适应度,因此为了保留最佳样本,希望适应度高的个体变异概率也越小,从而有更多的机会直接复制到下一代。针对此思路,规定自适应变异概率函数为:

$$P_m(i) = \frac{e^{(1-\frac{i}{n})} - 1}{e^{(1-\frac{i}{n})} + 1} \quad (7)$$

由 $P_m(i)$ 与 $1 - \frac{i}{n}$ 关系式趋近于一条直线,当 $1 - \frac{i}{n}$ 为 0 时, $P_m(i)$ 为 0;而 $1 - \frac{i}{n}$ 为 1 时, $P_m(i)$ 接近 0.5。这表明在进化初期,变异概率远远大于通常情况下设定的概率数值,随着进化代数的增加,变异概率值近似以固定的斜率慢慢趋近于 0。

4 仿真结果

图 6 给出了该卫星通信实验室便携站天线测试的方向图。

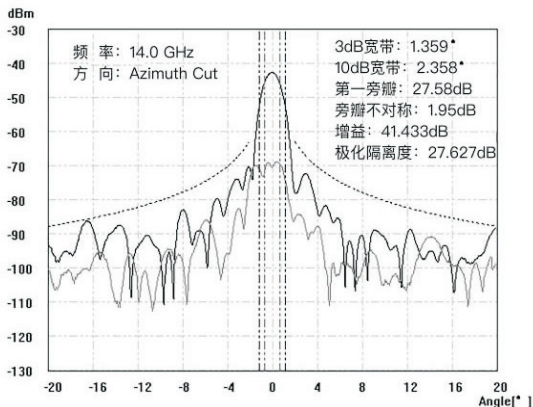


图 6 便携站天线测试方向图

以实际对星卫星信号较强且稳定跟踪位置为原点,方位方向上左右摆幅 20° ,并规定扫描时间为 10 s ,由频谱仪读出此方向图。

区间范围为 $[-20,20]$, $n=100$ 精确到小数点后一位取值。规定每一代的种群数量为 6 ,设置最大迭代次数为 $T=100$, $P_c=0.7$,进化后期 $P_m=0.02$ 。

5 结束语

文中通过运用交叉和变异概率可自适应的小生境遗传算法对实际天线方向图数值进行优化,能够较快地找到全局最优值。为天线在搜星状态下最快地找到方向图中全局最大点提供了可靠而又快速的算法。

参考文献:

[1] 张金虎. 卫星天线的原理及维护[J]. 数字通信世界,2015(2):25-28.

[2] 黄平. 最优化理论与方法[M]. 北京:清华大学出版社,2009.

[3] 李文科. 基于遗传算法的数据挖掘技术的研究[D]. 长沙:中南大学,2009.

[4] Zaharie D. A multipopulation differential evolution algorithm for multimodal optimization[C]//10th international conference on soft computing. [s. l.]:[s. n.],2004:16-18.

(上接第146页)

输的联合信源信道编码方式[J]. 计算机学报,2015,38(2):439-454.

[4] 陈希宏,金跃辉,杨谈. 3G网络中移动视频质量评估模型的研究[J]. 计算机科学,2015,42(9):86-93.

[5] Wu Jiyan,Cheng Bo,Shang Yanlei,et al. A novel scheduling approach to concurrent multipath transmission of high definition video in overlay networks[J]. Journal of Network and Computer Applications,2014,44(5):17-29.

[6] 马卓,马建峰,李兴华,等. 可证明安全的可信网络连接协议模型[J]. 计算机学报,2011,34(9):1669-1678.

[7] 龚葵. 城市交通诱导与控制的融合研究[D]. 北京:北京科技大学,2015.

[8] Fonzone A,Schmocker J D,Ma Jiangshan,et al. Link-based route choice considering risk aversion and regret[J]. Transportation Research Records,2012,2322:119-128.

[9] 王国明,李夏苗,邹华鹏. 城市群道路网络上交通流的演化分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2014,14(2):7-12.

[10] Engelson L. Ondynamics of traffic queues in a roadnetwork

[5] 赵雅婧. 车载“动中通”卫星通信地球站系统控制性能的研究与改进[D]. 南京:南京邮电大学,2014.

[6] 王丽娜. 卫星通信系统[M]. 北京:国防工业出版社,2006.

[7] 华洁,崔杜武. 基于个体优化的自适应小生境遗传算法[J]. 计算机工程,2010,36(1):194-196.

[8] Yang M S,Wu K L. A modified mountain clustering algorithm[J]. Pattern Analysis & Applications,2005,8(1):125-138.

[9] 王小平. 遗传算法[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

[10] Thierens D. Scalability problems of simple genetic algorithms[J]. Evolutionary Computation,1999,7(4):331-352.

[11] 刘智明,周激流,陈莉,等. 一种维持种群多样性的遗传算法变异算子的研究[J]. 小型微型计算机系统,2003,24(5):902-904.

[12] 袁亚湘. 最优化理论与方法[M]. 北京:科学出版社,1997.

[13] 郑宣耀,王芳. 一种改进的小生境遗传算法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2005,17(6):721-723.

[14] 张明辉,王尚锦. 具有自适应交叉算子的遗传算法及其应用[J]. 机械工程学报,2002,38(1):51-54.

[15] Ando S,Suzuki E,Kobayashi S. Sample based crowding method for multimodal optimization in continuous domain[C]//IEEE congress on evolutionary computation. [s. l.]:IEEE,2010:1867-1874.

[16] 刘晓明,王志强,曹云东,等. 取消变异的小生境遗传算法及应用[J]. 沈阳工业大学学报,2009,31(5):553-557.

with route choice based on real time traffic formation[J]. Transportation Research Part C,2003,11(2):161-183.

[11] 王力,李岱,何忠贺,等. 基于多智能体分群同步的城市路网交通控制[J]. 控制理论与应用,2014,31(11):1448-1456.

[12] 陈岳明,萧德云. 基于动态交通分配的路网应急疏散模型[J]. 清华大学学报:自然科学版,2009,49(8):1102-1105.

[13] 赵韩涛,翟京,毛宏燕,等. 城市应急车辆调度模型优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2010,10(4):125-130.

[14] Xu Tiandong,Hao Yuan,Peng Zhongren,et al. Real-time travel time predictor for route guidance consistent with driver behavior[J]. Canadian Journal of Civil Engineering,2011,39(10):1113-1124.

[15] Xiang Huaikun,Ji Wenchao. Research of early warning mechanism for traffic safety based on internet of things[J]. Advances in Information Sciences and Service Sciences,2012,4(3):131-138.