



基于遗传算法的 PCI 分配方案

李盼星,王静

(中国通信建设集团设计院有限公司第一分公司,河北 保定 071000)

摘要: 针对传统人工 PCI 规划全局性差和耗时耗力的问题,提出一种基于遗传算法的 PCI 分配方法(GA-PCIAS),该方法考虑了 PCI 规划不冲突、不混淆的原则,并且通过将干扰矩阵引入适应度函数可降低规划区域内的干扰程度,某密集市区的仿真实验证明,基站规模较小时,该算法相对于 PCI 顺序规划方案可有效降低规划区域的干扰程度。

关键词: 物理小区标识;遗传算法;LTE

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016082

PCI planning method based on genetic algorithm in LTE network

LI Panxing, WANG Jing

The First Branch of China International Telecommunication Construction Group Design

Institute Co., Ltd., Baoding 071000, China

Abstract: In order to avoid local optimum and the consumption on time and strength in traditional manual planning, an method of PCI planning based on genetic algorithm(GA-PCIAS) was proposed, the method took full consideration of the PCI planning principle, and the interference matrix was introduced to fitness function to reduce the interference in planned area. The simulation results in an dense area show that GA-PCIAS can improve RS-SINR (reference signal-signal to interference plus noise ratio) comparing with the classical sequential PCI allocation on small-scale base station.

Key words: physical cell identity, genetic algorithm, LTE

1 引言

PCI(physical cell identity,物理小区标识)是LTE网络中与小区搜索和小区切换相关的参数,该参数会直接影响参考信号的位置^[1],若PCI规划不合理会导致干扰问题的发生,极端情况下还可能产生掉话和切换失败,因此合理的PCI规划十分重要。目前传统的人工PCI分配和优化具有全局性差和耗时耗力等缺点,自分配和自优化将成

为今后的主要研究方向^[2]。目前在PCI规划方面的主要研究如下:

- 参考文献[2]提出一种基于蚁群算法的PCI规划方法,该方法不但考虑了SON(self-organized network,自组织网络)规范中提出的不冲突、不混淆原则,还可有效降低小区间的PCI干扰;
- 参考文献[3,4]通过理论分析给出了PCI配置原则和建议;



- 参考文献[5,6]对 PCI 自配置方法进行了研究;
- 参考文献[7]提出一种 PCI 评估方法,可对整个网络的 PCI 模三干扰情况进行评估;
- 参考文献[8]提出一种基于小区相关性的 PCI 调整方法,该方法通过计算优化区域内的总体干扰情况对模三干扰进行调整,以得到最佳方案。提出若规划基站过多可采用遗传算法进行计算,但并未给出详细计算方法。

本文借鉴参考文献[2]利用仿生学算法求解 PCI 最优分配方案的思想,提出一种基于遗传算法的 PCI 分配方案(GA-PCIAS),该方案考虑了 PCI 不冲突、不混淆的原则,并借鉴参考文献[5]的思想将干扰矩阵引入适应度函数以衡量模三干扰程度,通过确定性按比例选择遗传算法的计算得到使规划区域内干扰程度较低的分配方案。

2 GA-PCIAS 算法描述

2.1 符号及数据结构定义

(1)符号定义

本文所使用的符号定义见表 1。

表 1 符号定义

符号	定义
$Fitness$	适应度函数
I_{ij}	干扰矩阵中的同频干扰概率,其中 i 为行标号 j 为列标号
PCI	某小区分配的 PCI 值
m	初始种群规模
n	小区数
site1-(0)	小区名称

(2)干扰矩阵

干扰矩阵表示本小区与其他小区的干扰情况,本文定义的干扰矩阵格式见表 2。其中, I_{ij} 为本小区与其他小区的干扰概率,在 LTE 为同频组网的情况下, I_{ij} 为同频干扰的概率。

2.2 PCI 分配问题建模

PCI 规划应遵循的原则如下。

- 可用号码范围:协议规定可用 PCI 为 504 个^[9],实际规划中可能单独规定某区域可用号码范围。
- 不冲突、不混淆原则^[10]:相同的 PCI 号码间应保证足够的复用距离(至少间隔 4 层小区,并且距离大于 5 倍小区半径^[8]),并且同一小区下邻区列表内的小区 PCI 应不同。
- 避免模三干扰原则:双天线端口要避免模三干扰,一般应保证同基站下的 3 个扇区模三不同,相邻基站对打的小区尽量保证模三不同,单天线端口要避免模六干扰。本文重点考虑模三干扰的情况。

针对以上 PCI 规划原则,本文所设计的基于遗传算法的 PCI 分配模型需满足如下约束条件。

(1)针对可选号码范围

应保证规划区域的 PCI 号码在可用号码范围内。

(2)针对 PCI 号码冲突和混淆的问题

对于小区数小于 PCI 可用号码范围的情况,本文采用不分配重复 PCI 的方法解决。例如设定某地区 PCI 可用号码为 0~200,按常规每基站 3 个扇区计算,可保证 67 个基站的 PCI 号码不重叠分配,因此若该地区基站数小于 67,则分配 PCI 时应保证互不重叠;对于小区数大于 PCI 可用号码范围的情况,应首先计算两两基站间的距离,若两基站间距离小于允许的复用距离,则应保证该两基站 PCI 不同。本文主要研究遗传算法在 PCI 分配问题上的应用,因此重点研究小区数小于 PCI 可用号码范围的情况,对于小区数大于 PCI 可用号码范围的情况,只需额外考虑两基站间距离小于复用距离时保证 PCI 不同即可。

(3)针对模三干扰问题

在建立初始矩阵和遗传算子操作时,都应保证同一基站下 3 小区的模三不同。常规基站以三扇区为主,本文主要考虑常规每基站 3 个小区的情况,对于每基站小区数大

表 2 干扰矩阵

小区名称	site1-(0)	site1-(1)	site1-(2)	site2-(0)	...	siten-(2)
site1-(0)	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	...	I_{1n}
site1-(1)	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}	...	I_{2n}
site1-(2)	I_{31}	I_{32}	I_{33}	I_{34}	...	I_{3n}
site2-(0)	I_{41}	I_{42}	I_{43}	I_{44}	...	I_{4n}
...	...	...	...	...	...	...
siten-(2)	I_{n1}	I_{n2}	I_{n3}	I_{n4}	...	I_{nn}

于 3 个的情况,模三干扰不可避免。规划时,应尽量减小规划区域内总的干扰程度,对于干扰程度的衡量依靠前文提出的干扰矩阵。

本文要解决的问题为利用遗传算法寻找满足以上 3 个约束条件的 n 个小区的 PCI 号码分配的最优方案,优化的目标为小区间总的干扰函数尽量小。

2.3 GA-PCIAS 中使用的遗传算法规则

本文采用参考文献[11]中所提出的确定性按比例选择的遗传算法,该算法是指在遗传算子操作中采用按确定的百分比选择参与操作的个体,相对于传统的遗传算法,具有可充分挖掘父代中最优解信息、收敛速度快、易实施等优点。

(1) 染色体表示及编码

常见的染色体编码有二进制编码法和自然编码法等,本文的 PCI 分配问题采用自然编码法。通过列举所有待规划小区所使用的 PCI 号码的方式进行编码。例如,某基站的 3 个小区 site1-(0)、site1-(1)、site1-(2) 所分配的 PCI 号码分别为 0、1、2,则该 PCI 分配方案染色体编码为[0、1、2]。按照 PCI 定义,可选编码最大取值范围为 0~503,共 504 个值。针对于 n 个小区的场景,则染色体表示为[PCI₁, PCI₂, ..., PCI_n]。

(2) 适应度函数

适应度函数是评价个体优越性的标准,函数本身的优劣会直接影响遗传算法的可行性和收敛速度。本文中的适应度函数为 $Fitness=1/I_{total}$,其中 I_{total} 为干扰函数。定义如下:

$$I_{total} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \quad (1)$$

其中:

$$C_{ij} = \begin{cases} I_{ij}, & \text{PCI}_i \bmod 3 = \text{PCI}_j \bmod 3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

可以看出,干扰函数为与模三干扰相关的干扰值,若两小区间的 PCI 模三相等,则 $C_{ij}=I_{ij}$;若不相等,则为 0,在

干扰矩阵中 I_{ij} 与 I_{ji} 不一定相同。

(3) 初始种群形成

初始种群的产生有两种:一种是随机产生,适合于毫无先验知识的情况;另一种是将某些先验知识转化为约束条件,然后再产生满足条件的样本。如前文所述,本文初始种群的产生需要满足以下 3 个条件:一是同一基站下 3 个小区的 PCI 模三不同;二是为增加初始种群的多样性,加快收敛速度,基站间各小区的模三值顺序应不同;三是产生的 PCI 号码应在所规定的可用号码范围内。例如,某地区有 n 个小区,规定其 PCI 可选范围为 0~100,则产生的初始种群见表 3,其中染色体种群数量为 m 。

(4) 选择算法

采用确定性按比例选择算法,将每代适应度最高的前 $a\%$ 个体遗传到下一代,以保证最优个体的保存,加快收敛速度。

(5) 交叉算法

交叉的操作方法有单点交叉、多点交叉、均匀交叉等,本文采用单点交叉的方法,即从父代选择适应度较低的 $b\%$ 个体进行两两交叉。交叉操作的目的是实现站间 PCI 值的整体互换。为保证同基站下 3 个小区 PCI 号码的模三不同,交叉节点应选择 3 的倍数,交叉后若个体中有重复 PCI 号码出现,应将该重复号码替换为该个体中未使用过且与该重复号码模三相同的 PCI,并且替换号码也应在规定的 PCI 可选范围内。具体操作如图 1 所示,假定 PCI 可选范围为 0~20,待交叉染色体 A、B 交叉后染色体 B 产生重复号码“3”,则应在 0~10 中选择 B 未使用过且模三同样等于 0 的号码“0”或“9”进行替代。

(6) 变异算法

从子代选择适应度较差的 $c\%$ 个体进行变异操作,变异操作的目的是实现同一基站下小区内 PCI 值互换,如图 2 所示。具体变异方法如下:从染色体 A 中选择变异节点(为保证同基站下 3 个小区 PCI 号码模三不同,变异

表 3 产生的初始种群

小区名称	site1-(0)	site1-(1)	site1-(2)	site2-(0)	site2-(1)	site2-(2)	...	siten-(2)
染色体编号	PCI ₁	PCI ₂	PCI ₃	PCI ₄	PCI ₅	PCI ₆		PCI _n
个体 1	0	1	2	3	5	4	...	97
个体 2	3	4	5	8	7	6	...	96
个体 3	1	0	2	9	10	11	...	97
...	...	...	...	...	...	...	...	...
个体 m	9	11	10	12	14	13	...	100

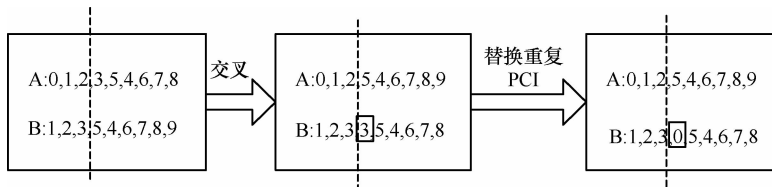


图1 交叉算法示意

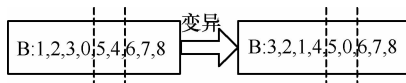


图2 变异算法示意

节点同样应为3的倍数),将变异节点前同一基站下3个小区的PCI值进行随机互换。变异操作也应保证非法PCI的生成。

(7) 微调

若现网要求同一基站下SSS(secondary synchronization signal,辅同步信号)号码相同,则需要对遗传算法执行的结果进行微调,微调的原则为:替换的号码应在PCI可选范围内,且其他基站未使用过;替换的号码模三值与被替换号码相同;号码替换后同一基站下SSS相同,如图3所示。



图3 微调过程示意

3 仿真与分析

为验证本文所提算法的有效性,拟对某密集市区站数分别为13、22、31、55、72、90时的6种场景进行仿真,建立仿真环境如下:制式为TD-LTE,频段为1.8 GHz,带宽为20 MHz,DL:UL为2:2,天线传输模式为自适应模式。

3.1 算法的有效性验证

以场景一(基站数为13个)为例对算法的有效性进行说明。在上述仿真场景下,由网络规划软件获得场景一下干扰矩阵部分数据见表4。

利用本文所提GA-PCIAS对上述13个基站进行PCI规划,设置遗传算法选择比例约为23%,交叉比例约为77%,变异比例为30%,最大迭代次数为100次,则干扰函数与迭代次数的关系如图4所示。

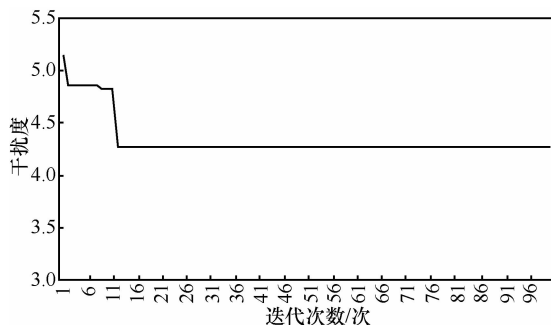


图4 遗传算法计算过程

由图4中可以看出,随着迭代次数的增加,干扰函数在逐渐减小,即规划区域内总的干扰值在下降,迭代次数为11次时即达到了最优。达到最优值时对应的PCI分配方案见表5。

若要求SSS相同,则微调后结果见表6,经过微调后可以发现PSS(primary synchronization signal,主同步信号)未发生变化,而同一基站下的SSS变为相同值。

3.2 算法优化效果验证

为验证算法的优化效果及适用范围,将本文所提出的GA-PCIAS与PCI顺序分配方案(即site1-(0)、site1-(1)、site1-(2)、site2-(0)等小区的PCI分配依次为0、1、2、3...)输入网络规划软件Atoll中,分别对6种场景进行仿真,由于PCI规划对于空载和建网初期加载量较小时的RS-SINR(reference signal-signal to interference plus noise

表4 干扰矩阵

小区名称	site1-(0)	site1-(1)	site1-(2)	site2-(0)	...	siten-(2)
site1-(0)	0	0.258 6	0.024	0.030 7	...	0
site1-(1)	0.349 8	0	0.018 8	0.141 3	...	0
site1-(2)	0.100 4	0.057 2	0	0.040 8	...	0
site2-(0)	0.019 5	0.036 2	0.014	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...
siten-(2)	0	0	0	0.014 3	...	0

表 5 最优分配方案

小区名称	PCI	PSS	SSS
site1	1	1	0
	5	2	1
	0	0	0
site2	22	1	7
	38	2	12
	6	0	2
site3	7	1	2
	33	0	11
	8	2	2
site4	10	1	3
	11	2	3
	9	0	3
site5	13	1	4
	12	0	4
	14	2	4
site6	3	0	1
	2	2	0
	4	1	1
site7	18	0	6
	20	2	6
	19	1	6
site8	26	2	8
	25	1	8
	24	0	8
site9	21	0	7
	16	1	5
	23	2	7
site10	35	2	11
	34	1	11
	15	0	5
site11	30	0	10
	32	2	10
	31	1	10
site12	27	0	9
	28	1	9
	29	2	9
site13	36	0	12
	17	2	5
	37	1	12

表 6 对最优方案进行微调

小区名称	PCI	PSS	SSS
site1	1	1	0
	2	2	0
	0	0	0
site2	16	1	5
	17	2	5
	15	0	5
site3	7	1	2
	6	0	2
	8	2	2
site4	10	1	3
	11	2	3
	9	0	3
site5	13	1	4
	12	0	4
	14	2	4
site6	3	0	1
	5	2	1
	4	1	1
site7	18	0	6
	20	2	6
	19	1	6
site8	26	2	8
	25	1	8
	24	0	8
site9	21	0	7
	22	1	7
	23	2	7
site10	35	2	11
	34	1	11
	33	0	1
site11	30	0	10
	32	2	10
	31	1	10
site12	27	0	9
	28	1	9
	29	2	9
site13	36	0	12
	38	2	12
	37	1	12

ratio,参考信号的信号与干扰加噪声比)影响较大,因此设置加载量为 5%,得到两种分配方案在规划区域内 $RS-SINR \geq -3$ dB 的覆盖面积对比效果,如图 5 所示。

由图 5 可见,基站规模较小时,GA-PCIAS 的分配方案

所得的 RS-SINR 要明显优于顺序分配方案;随着基站规模增大,遗传算法收敛变慢,迭代次数增加,其相对于顺序分配方案的优势减弱。多次仿真结果显示,当基站规模为 72 个、90 个时,GA-PCIAS 的最优解与顺序分配方案相同,

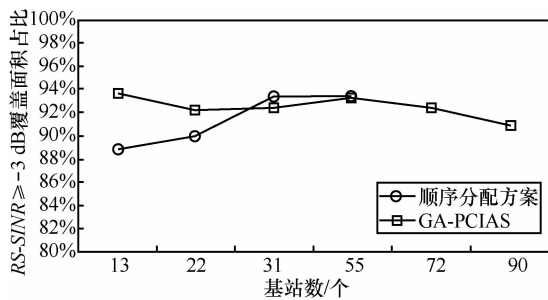


图5 覆盖面积对比效果

建议基站规模较小时,采用 GA-PCIAS 算法;基站规模较大时,可考虑采用顺序分配方案。

4 结束语

本文提出一种基于遗传算法的 PCI 分配方案,该方案可通过遗传算法进行全局搜索,且具有收敛速度快、操作简单易实施的优点,仿真结果表明,基站规模较小时,该算法相对于顺序分配方案可以有效降低规划区域内的干扰程度,在网络规划初期可以结合网络规划软件输出的干扰矩阵进行使用,或者应用于可插拔、代价小的小基站 PCI 配置中;基站规模较大时,可考虑采用顺序分配方案。

参考文献:

- [1] 3GPP TS 36.211. Technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation(Release 10)[S]. 2012.
- [2] 刘金灿.TD-LTE 系统的 PCI 规划研究与应用[D].北京:北京邮电大学, 2014.
LIU J C. Research and application of PCI planning in TD-LTE system [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [3] 李青. TD-LTE 系统 PCI 规划方法研究 [J]. 无线电通信技术, 2013, 39(5): 66-67,92.
LI Q. Research of TD-LTE PCI planning [J]. Radio Communications Technology, 2013, 39(5): 66-67,92.
- [4] 李寿鹏, 张国栋, 苏雷. TD-LTE 系统 PCI 配置分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2012(9): 50-54.
LI S P, ZHANG G D, SU L. Research of TD-LTE PCI configuration [J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2012(9): 50-54.
- [5] 孙成丹, 张洪岩, 魏垚, 等. LTE-Advanced 系统中 PCI 自配置仿真研究[J]. 电信科学, 2013, 29(7): 30-36.

SUN C D, ZHANG H Y, WEI Y, et al. Simulation research for PCI automatic allocation in LTE-Advanced system [J]. Telecommunications Science, 2013, 29(7):30-36.

- [6] 朱晓光, 江华. LTE 基站系统的 PCI 自配置技术研究[J]. 电信科学, 2014, 30(7): 130-134.
- ZHU X G, JIANG H. Research on PCI self-configuration technology of LTE eNB system[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(7): 130-134.
- [7] 郭建光, 高克俭, 王猛. TD-LTE 网络 PCI 评估研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2015(2): 35-38.
- GUO J G, GAO K J, WANG M. Research on TD-LTE network PCI assessment [J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2015(2): 35-38.
- [8] 侯优优, 隋延峰. 基于小区相关性的 PCI 优化方法研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2013(3): 25-29.
- HOU Y Y, SUI Y F. PCI optimization method based on the cell correlation [J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2013(3): 25-29.
- [9] 3GPP TS 36.300. Technical specification group radio access network; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation(Release 9)[S]. 2012.
- [10] 3GPP TR 36.902. Evolved universal terrestrial radio access network solutions[S]. 2011.
- [11] 王振朝, 王静, 荆鑫. 基于遗传算法的多路径录用研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(20): 197-199.
WANG Z C, WANG J, JING X. Multipath routing of genetic algorithm in Ad Hoc networks [J]. Computer Engineering, 2011, 37(20): 197-199.

[作者简介]



李盼星(1982-),男,中国通信建设集团设计院有限公司第一分公司工程师,主要从事无线网络规划、决策方法研究等工作。



王静(1986-),女,中国通信建设集团设计院有限公司第一分公司工程师,主要从事无线网络规划等工作。