

一种基于 RAN 架构无线接入网系统容量最大化的功率分配算法*

刘占军, 朱志超, 邓欢, 刘翔

(重庆邮电大学 重庆市移动通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 针对新型 RAN 架构无线接入网中功率分配问题进行研究, 建立系统容量最大化的最优化数学模型, 提出了一种基于 RAN 架构无线接入网的系统容量最大化的功率分配算法, 并且应用人工鱼群算法求解了算法中目标函数的全局最优解, 即一组使系统容量最大化的发射功率。仿真结果表明, 与现有的分布式网络架构中非合作的功率控制博弈算法相比, 新算法可以显著提高系统容量, 即证明了该算法的有效性。

关键词: 功率分配; RAN 架构; 系统容量; 人工鱼群算法

中图分类号: TN929.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)05-1486-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.05.052

Power allocation algorithm with respect to system capacity maximization based on RAN architecture of wireless access network

LIU Zhan-jun, ZHU Zhi-chao, DENG Huan, LIU Xiang

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communication, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: According to the power allocation problem based on the RAN architecture of the wireless access network, this paper built system capacity maximization optimization mathematical model, and put forward a power allocation algorithm with respect to maximization of system capacity based on the RAN architecture of the wireless access network, also applied the artificial fish swarm algorithm to solve the global optimal solution of target function in this algorithm, namely a group of transmitting power made the system capacity maximum. Simulation results show that compared with the existing non-cooperative power control game and pricing algorithm in distributed network architecture, the new algorithm can significantly increase the system capacity. Thus, the simulation analyses conclude that the algorithm is effective.

Key words: power allocation; RAN architecture; system capacity; artificial fish swarm algorithm

0 引言

面对传统架构无线接入网在成本、性能和能耗等方面的挑战, 中国移动等提出了一种面向绿色的新型无线接入网架构 RAN^[1]。该 RAN 架构无线接入网系统采用集中式的基带资源池管理体系结构及方法, 由基带资源池对网络中的资源进行统一管理, 正是这种集中式的管理体系结构及方法使得网络中的资源实现最优化管理变得切实可行。

功率控制技术是该 RAN 架构无线接入网系统中极为重要的资源管理技术之一, 其有效性直接决定了系统的可行性。功率控制技术能够降低用户间的相互干扰, 可以在满足每个用户通信质量的前提下, 最小化其发射功率, 从而减少干扰、增加系统容量^[2]。目前国内外对功率控制技术研究较多的是基于分布式的传统网络架构的非合作博弈的上行功率分配方案, 其中文献[3]是上述功率分配方案的一种典型代表, 在该文献中提出了一种与调制方式有关的非合作功率控制博弈模型(non-cooperative power control game and pricing algorithm, NPGP)。该

模型将博弈论应用到功率控制算法之中, 并且引入了与功率呈线性增长的代价函数, 目标就是通过自由选择各种策略来最大化自己的效用函数, 而且可以证明该模型收敛并存在唯一的纳什均衡点。但是以上非合作博弈的功率分配算法研究都是针对分布式的传统网络架构, 并不太适合新型 RAN 架构中集中式的网络管理体系结构, 而目前基于此新型架构的功率控制技术算法研究还尚未见到相关的理论成果。有鉴于此, 本文提出了一种基于该新型 RAN 架构无线接入网系统集中式的管理^[4]体系结构的功率分配算法。该算法引入最优化理论建立了以系统容量为目标函数的最优化系统容量算法模型, 并应用人工鱼群算法^[5]求解了该模型的全局最优解, 即一组最优的用户发射功率, 从而实现对各个移动节点进行功率分配。

1 发射功率受限情况下最优化系统容量功率分配算法

假设在一个空旷的场地, 分布有 N 个移动台(mobile station, MS)和 M 个基站(base station, BS)。第 i 个 MS 的位置坐

收稿日期: 2012-09-22; **修回日期:** 2012-10-31 **基金项目:** 国家重大专项资助项目(2010ZX03003008-004); 重庆市教委资助项目(KJ120510); 重庆邮电大学自然科学基金资助项目(A2011-15)

作者简介: 刘占军(1975-), 男, 河北保定人, 副教授, 主要研究方向为无线通信网络; 朱志超(1989-), 男, 湖北天门人, 硕士研究生, 主要研究方向为移动通信技术(rtmk@163.com); 邓欢(1988-), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要研究方向为移动通信技术; 刘翔(1973-), 男, 四川仪陇人, 工程师, 主要研究方向为通信工程理论与实践。

标为 (x_i, y_i) ,其中 $0 \leq i \leq N$,第 j 个BS的位置坐标为 (x_j, y_j) ,其中 $N+1 \leq j \leq M$ 。则它们之间的距离可以表示为

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

两者之间的信道增益为

$$h_{ij} = 0.097 d_{ij}^{-4} \quad (2)$$

在移动通信蜂窝系统中,第 i 个MS的信道容量为 C_i ,信道带宽为 B ,假定 B 为一常数。对于带宽有限、平均功率有限的高斯白噪声连续信道,可以证明,其信道容量^[6]为

$$C_i = B \log_2(1 + \text{SIR}_i) \quad (3)$$

其中, SIR_i 为第 i 个MS的信干比。信干比的表达式为

$$\text{SIR}_i = \frac{p_i h_{ij}}{1/G(\sum_{k=1, k \neq i}^N p_k h_{kj} + \sum_{l=1, l \neq j}^M p_l h_{lj} + \sigma^2)} \quad (4)$$

最优化系统容量的目标函数为

$$\begin{aligned} & \max \sum C_i \\ & \text{s. t. } \quad \{0 \leq p_i \leq p_{\max}\} \end{aligned} \quad (5)$$

将式(3)代入式(5)得

$$\begin{aligned} & \max \sum B \log_2(1 + \text{SIR}_i) \\ & \text{s. t. } \quad \{0 \leq p_i \leq p_{\max}\} \end{aligned} \quad (6)$$

由于 B 是常量,故可以转换为

$$\begin{aligned} & \max \sum \log_2(1 + \text{SIR}_i) \\ & \text{s. t. } \quad \{0 \leq p_i \leq p_{\max}\} \end{aligned} \quad (7)$$

将式(1)(2)(4)代入式(7)得

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^N \log_2 \left\{ 1 + \frac{p_i [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{-2}}{\frac{1}{G} \sum_{k=1, k \neq i}^N p_k [(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2]^{-2} + \frac{1}{G} \sum_{l=1, l \neq j}^M p_l [(x_l - x_j)^2 + (y_l - y_j)^2]^{-2} + \frac{\sigma^2}{0.097G}} \right\} \\ & \text{s. t. } \quad \{0 \leq p_i \leq p_{\max}\} \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)即为以系统容量为目标函数的最优化系统容量的算法模型(optimality theory of system capacity, OSC),接下来的目标就是寻找一组最优的发射功率 $(p_1, p_2, \dots, p_N)$ 使得式(8)成立。

2 人工鱼群算法求最优解

本章主要求解上述最优化系统容量的算法模型(OSC算法)的最优解,由式(8)可以明显看出该模型存在局部最优解,故而问题转换为求解存在局部最优的最优化问题。

早在2003年,李晓磊、邵之江等人提出了人工鱼群算法,算法利用自上而下的寻优模式模仿自然界鱼群觅食行为,主要利用鱼的觅食、聚群和追尾行为,构造个体底层行为;通过鱼群中各个体的局部寻优,达到全局最优值在群体中凸现出来的目的。该算法系统地介绍了解决存在局部最优的最优化问题的方法与步骤,本文则应用人工鱼群算法来求解上述存在局部最优的OSC模型的全局最优解。

2.1 算法描述

鉴于人工鱼群模型及其行为,每个人工鱼探索它当前所处的环境状况和伙伴的状况(其实伙伴的状况相对于其自身应该也是归属于环境的状况),从而选择一种行为进行执行。最终,人工鱼集结在几个局部极值的周围。一般情况下,在讨论求极大值问题时,拥有较大适应值的人工鱼一般处于值较大的极值域周围,这有助于获取全局极值域,而值较大的极值区域周围一般能集结较多的人工鱼,这有助于判断并获取全局极值。

具体的人工鱼群算法步骤^[7]如下:

a)确定种群规模 N ,在变量可行域内随机生成 N 个个体,设定人工鱼的可视域visual,步长step,拥挤度因子 δ ,尝试次数try-number。

b)计算初始鱼群各个个体适应值,取最优人工鱼状态及其值赋给公告板。

c)个体通过觅食、聚群、追尾行为更新自己,生成新鱼群。

d)评价所有个体。若某个个体优于公告板,则将公告板更新为该个体。

e)当公告板上最优解达到满意误差界内,算法结束,否则转步骤c)。

2.2 算法求解

以下结合OSC算法模型对人工鱼群算法作了如下具体设计:鱼群的每个个体表示一组候选的最优解 $P = (p_1, p_2, \dots, p_N)$,即为一组各个用户的发射功率初值,其对应于人工鱼的状态向量,为欲寻优的变量,而系统容量的目标函数对应个体鱼所在的食物浓度函数,个体鱼的觅食、追尾和聚群行为就是为了寻找局部食物浓度最大处,即系统容量的目标函数的局部最优解。

求解时可设50组这样的功率初值,即相当于50条鱼。当搜索开始后,首先根据搜索空间的大小随机产生鱼群中的个体,然后进行追尾活动。每条鱼 P_i 都查看在自己可视域范围内(即距离小于visual,visual根据搜索空间的大小而定,在本文中设为1.5)的其他鱼,从中找到使系统容量的目标函数最大的一个 P_j ,其目标函数值记为 Y_j , P_j 周围可视域内的其他个体数量记为 n_f ,若 $Y_j/n_f > \delta Y_i$ (δ 为拥挤度因子,此处取1),则表明 P_j 周围“食物”较多且不太拥挤,这时 P_i 就对每一个用户的功率初值进行调整,使 P_i 向 P_j 移动一步。

追尾活动若不成功,则进行聚群行为。每条鱼都先找出自己周围可视域内的其他鱼,其数目为 n_f ,形成一个小鱼群,然后找出这群鱼的中心位置 P_c ,其目标函数值记为 Y_c ,若 $Y_c/n_f > \delta Y_i$,则表明中心点的“食物”较多且不太拥挤,据此每条鱼调整用户功率初值使每条鱼向中心位置靠近一步。

如果聚群失败就进行觅食活动,每条鱼在其可视域visual内随机选择一组功率值,对其功率初值进行变化产生一个新的状态,若新状态优于原状态则向新状态移动,否则再次进行觅食活动,重复最大迭代次数 m (m 视搜索空间大小而定,本文设为50)后,如果还是没有找到更优的状态则进行随机移动。

算法中设有公告板,每次搜索完成后公告板同鱼群中最优的个体进行比较,若此个体优于公告板则更新公告板。整个算法结束后,公告板上记录的就是所求得的全局最优解。算法在以下三种情况下结束:a)公告板使得目标函数最大;b)搜索次数达到规定的最大搜索次数;c)搜索时间达到规定的最大搜索时间。

3 仿真分析

仿真场景设在由两个扇区组成的一个小区内,如图1所示,该服务区群内有四个RRU(radio remote unit)和若干个MS,其中RRU分布在小区的中心位置,MS的数量为 m 。为了说明本文提出的算法具备一般性,以下选取MS数量不定但MS在各小区内均匀分布,以及MS数量一定但MS在各小区分布选取五组不同的分布情况进行仿真,并对其容量取平均值,以此

最大化地消除特殊性。

在仿真中,假设扩频增益 G 为 100, 高斯白噪声 σ^2 为 0.05。信道增益与距离的关系近似表示为 $h_i = 0.097d^{-4}$ 。

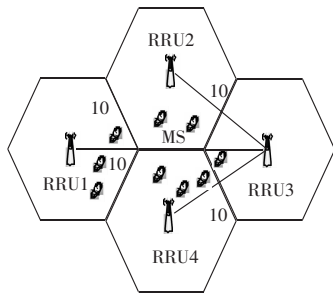


图 1 小区分布图

为了分析问题方便,选取 RRU1 作为服务基站,其他三个基站会对 RRU1 覆盖区域下的 MS 产生干扰。本文先讨论 MS 的数量 $m = 9$ 的情况下,五种不同分布情况的系统容量值,对比的算法是目前研究较多的基于博弈论的 NPGP 算法。随机生成 9 个 MS 的位置坐标,如表 1 所示。

表 1 MS 的位置坐标

x	8.36	9.97	1.86	4.60	4.42	2.88	3.99	7.85	6.30
y	1.45	2.81	3.22	4.82	8.69	9.36	3.98	1.35	1.94

a) 利用人工鱼群算法可以求出 OSC 算法的收敛功率值,设为 P_1 , 通过 NPGP 算法得出收敛功率值,设为 P_2 。当 MS 的网络分布如表 1 所示时,两种算法得出的功率值情况如表 2 所示。

表 2 两种算法的功率值比较

P_1	0.8701	1.7004	0.3305	3.7708	2.2842	0.7025	3.2013	2.2875	2.3745
P_2	0.4005	0.3315	20.6024	0.1035	0.3045	0.3048	0.1057	0.2051	0.6659

b) 通过人工鱼群算法可以得出 OSC 算法的容量为 C_1 , 通过功率值 P_2 可以求出 NPGP 算法的容量为 C_2 , 在该种情况下, $C_1 = 0.5134$, $C_2 = 0.1114$ 。可以看出, OSC 算法得出的系统容量大于 NPGP 算法的系统容量。

c) 重复 a)b) 步骤四次, 得出 MS 在两种算法下的另外四种不同分布情况下的功率值, 如表 3 ~ 6 所示。

表 3 第二组功率值比较

P_1	0.7145	1.3724	3.6959	2.9422	1.8291	0.8886	0.9382	1.0938	1.0338
P_2	0.3602	0.1000	0.1927	0.1022	0.2843	0.4349	0.5509	0.1967	0.3189

表 4 第三组功率值比较

P_1	1.2652	2.8190	0.5058	3.4912	2.5337	3.8219	0.8310	3.0452	3.4624
P_2	0.3440	0.1000	0.1000	0.2886	0.3161	0.1000	0.3376	0.1000	0.3842

表 5 第四组功率值比较

P_1	3.6660	0.2376	3.8136	3.1570	0.7463	2.9061	1.7367	0.2234	2.7803
P_2	0.1000	0.1535	0.1000	0.3217	0.4400	0.1952	0.1000	0.1000	0.2819

表 6 第五组功率值比较

P_1	0.8701	1.7004	0.3305	3.7708	2.2842	0.7025	3.2013	2.2875	2.3745
P_2	0.4005	0.3315	20.6024	0.1035	0.3045	0.3048	0.1057	0.2051	0.6659

分别求出两种算法在以上四组情况下的容量值, 并对以上五组情况下的系统容量取平均值, 如表 7 所示。

表 7 两种算法的容量值比较

OSC	0.8146	0.5134	0.2269	0.4556	0.3938	0.4809	0.8146	0.5134	0.2269
NPGP	0.1416	0.1114	0.0472	0.0796	0.0660	0.0892	0.1416	0.1114	0.0472

可以看出, 五种情况下 OSC 算法的平均容量大于 NPGP 算法的平均容量, 这就消除了某些特定位置情况下导致的 OSC 容量性能的优越性, 表明在用户数 $m = 9$ 的情况下, 本文提出的 OSC 算法能够提供比 NPGP 算法更大的系统容量。

本文提出的 OSC 算法在不同的用户数情况下, 同样能够

提供更大的系统容量。本文取 $m = 9 \sim 20$ 个用户, 分别在不同的用户数下, 通过以上同样的步骤, 可以得出不同用户数下系统容量的平均值比较, 如表 8 所示。

表 8 不同用户数下的平均容量值比较

m	9	10	11	12	13	14
OSC	0.4809	0.784	0.4840	0.7240	1.0035	0.8785
NPGP	0.0892	0.1974	0.1053	0.1482	0.1728	0.1113
m	15	16	17	18	19	20
OSC	1.1727	1.1742	1.0720	0.9615	1.2270	1.1770
NPGP	0.2766	0.3130	0.2799	0.3208	0.3508	0.3994

仿真结果如图 2 和 3 所示。

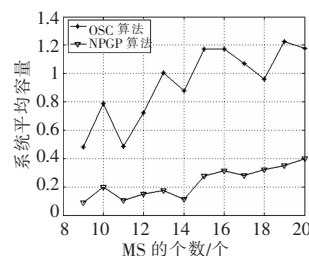


图 2 不同用户数下平均容量比较

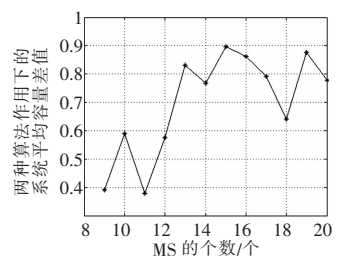


图 3 不同用户数下的系统容量差值

在图 2 中, 横坐标代表的是用户数目, 纵坐标代表的是在不同用户数下的平均容量, 可以看出, 两种算法得出的系统容量随着用户数的增多会呈现一种上升的趋势, 并且 OSC 算法在不同用户数的情况下, 得出的系统容量均比 NPGP 算法大, 两种算法的容量差值如图 3 所示。从图 3 中可以看出, 随着用户数的增多, 两种算法得出的容量差值整体呈现上升趋势, 并且在用户数为 15 时差值最大。因此本文提出的基于最优化容量的 OSC 算法相比 NPGP 算法能够较大地提高系统的容量。

4 结 束 语

本文针对目前功率控制技术中普遍研究的 NPGP 算法不适应 RAN 架构集中式的管理体系结构, 提出了一种基于该 RAN 架构无线接入网的容量最大化的功率控制算法 (OSC 算法), 并应用人工鱼群算法求解了该算法中目标函数的全局最优解, 即实现了对各移动用户的功率分配。仿真分析比较了两类功率控制算法, 而且明显得出在用户数目不同情况下, OSC 算法的容量比 NPGP 算法的容量平均要大六十个百分点。虽然 OSC 算法的能耗较 NPGP 算法大, 但是可以实现追求容量最大化的目的。

参考文献:

- [1] 张若文, 方初, 李巍, 等. 无线接入网演进之 C-RAN 技术[J]. 电信工程技术与标准化, 2012, 25(4): 79-84.
- [2] 陈俊, 彭木根, 王文博. TD-LTE 系统功率控制技术研究[J]. 数据通信, 2010, 21(4): 28-31.
- [3] SARAYDAR C U, MANDAYAM N B, GOODMAN D J. Efficient power control via pricing in wireless data networks[J]. IEEE Trans on Communications, 2002, 50(2): 291-303.
- [4] 黄平. 最优化理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 12-15.
- [5] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 32-38.
- [6] 樊昌信, 曹丽娜. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 81-83.
- [7] 王宗利, 刘希玉, 王文平. 一种改进的人工鱼群算法[J]. 信息技术与信息化, 2010, 35(3): 46-49.