

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.02.001

引用格式:刘占军,彭霞,何宏智,等. C-RAN 架构中适用于干扰消除的资源分配机制[J]. 电讯技术,2016,56(2):117-121. [LIU Zhanjun, PENG Xia, HE Hongzhi, et al. A resource allocation mechanism for interference cancellation in C-RAN architecture[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(2):117-121.]

C-RAN 架构中适用于干扰消除的资源分配机制*

刘占军,彭霞**,何宏智,周诗妍

(重庆邮电大学 移动通信技术重庆市重点实验室,重庆 400065)

摘要:针对在 C-RAN(Clean-Radio Access Network)架构无线网络中的干扰消除机制会带来背景噪声放大的问题,利用 C-RAN 架构网络的集中式处理,从而可以对全网络系统求解干扰。在定义网络背景噪声放大因子的基础上,将网络中背景噪声放大的最小化问题建立为以资源分配集合为可行空间、以最小化背景噪声放大因子为目标函数的最优化数学模型,并给出了利用遗传算法进行求解的方法,在此基础上设计了资源分配的机制。对该机制的仿真结果表明:将此机制应用到 C-RAN 构架网络中,能有效降低误码率,提升网络中用户公平性和吞吐量。

关键词:C-RAN;干扰消除矩阵;最优化模型;频率分配

中图分类号:TN929.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)02-0117-05

A Resource Allocation Mechanism for Interference Cancellation in C-RAN Architecture

LIU Zhanjun, PENG Xia, HE Hongzhi, ZHOU Shiyan

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communications Technology,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract:For the amplified background noise problem of the interference cancellation mechanism in the Clean-Radio Access Network(C-RAN) architecture wireless network, the interference over the whole system in the network can be solved by utilizing the centralized processing characteristic of C-RAN architecture. Based on the definition of the network amplification factor, the problem of minimizing the network background noise is modeled as an optimization mathematical problem, in which the resource allocation set is the feasible space and minimizing the background noise amplification factor is the target function. And then, the way of the applying genetic algorithm(GA) to solve the problem is given and the resource allocation mechanism is designed. The simulation results show that applying the proposed mechanism in the C-RAN architecture can effectively reduce the bit error rate(BER) and improve the users' fairness and network throughput.

Key words:C-RAN; interference cancellation matrix; optimization model; frequency allocation

* 收稿日期:2015-08-26;修回日期:2015-11-30 Received date:2015-08-26;Revised date:2015-11-30
基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2014AA01A701);重庆市教委资助项目(KJ120510)
Foundation Item:The National High-tech R&D Program of China(863 Program)(2014AA01A701);The Science and Technology Research Project of Chongqing Municipal Education Commission of China(KJ120510)

** 通信作者:454660432@qq.com Corresponding author:454660432@qq.com

1 引言

无线网络中移动终端因为共享无线信道而存在相互干扰,文献[1]针对 C-RAN(Centralized , Cooperative , Cloud , and Clean-Radio Access Network)架构无线网络中的上行干扰抑制问题进行研究,提出了集中式上行干扰消除方法,该方法利用 C-RAN 架构的集中式处理特点^[2-3],分析得到各远端射频单元(Remote Radio Unit , RRU) 的接收信号存在相关性,并且运用矩阵运算证明出利用信号间的相关性进行干扰消除在背景噪声较小时是可行的,进而求得干扰消除矩阵,并利用此矩阵消除上行信号间的干扰。该方法能在背景噪声较小的情况下明显降低系统误码率,但随着背景噪声增大,接收性能逐渐下降,特别是在背景噪声较大时,不但不能使系统性能提升,反而会使接收性能下降。原因在于该方法会放大背景噪声,而背景噪声的放大程度主要取决于干扰消除矩阵的阶数,而干扰消除矩阵的阶数又与使用相同频率的用户数量有关。同时,在无线通信网络中,影响干扰大小的因素主要是移动设备所使用的频率和功率^[4-5]。由此可见,在该干扰消除机制中进行合理的资源分配是必要的。

本文针对干扰消除矩阵会放大背景噪声的问题,利用 C-RAN 集中式的处理特点,提出适用于干扰消除矩阵接收方式的资源分配机制。该机制利用最优化思想^[6-7],通过遗传算法^[8-9]实现所有用户平均放大噪声的最小化,从而提升网络性能。

2 系统模型

假设:不同子载波间不存在干扰,小区间采用频率复用因子 1,系统中频率资源块的数量为 n ,根据文献[1]可得

$$\begin{cases} F_r(\omega_1) = H(\omega_1)F_s(\omega_1) + N(\omega_1) \\ F_r(\omega_2) = H(\omega_2)F_s(\omega_2) + N(\omega_2) \\ \vdots \\ F_r(\omega_n) = H(\omega_n)F_s(\omega_n) + N(\omega_n) \end{cases} \quad (1)$$

式中: ω_i 表示第 i 个频率资源块; $F_s(\omega_i)$ 表示使用资源块 ω_i 的用户的发送信号; $F_r(\omega_i)$ 是 RRU 接收到来自使用资源块 ω_i 的用户信号; $H(\omega_i)$ 表示使用资源块 ω_i 的用户到 RRU 的信道矩阵; $N(\omega_i)$ 是 RRU 接收到资源块 ω_i 上的背景噪声。

干扰消除后的传输模型为

$$\begin{cases} F'_r(\omega_1) = E(\omega_1)F_r(\omega_1) \\ F'_r(\omega_2) = E(\omega_2)F_r(\omega_2) \\ \vdots \\ F'_r(\omega_n) = E(\omega_n)F_r(\omega_n) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $E(\omega_i) = H^{-1}(\omega_i)$ 。将式(1)代入式(2)中,可得

$$\begin{cases} F'_r(\omega_1) = F_s(\omega_1) + E(\omega_1)N(\omega_1) \\ F'_r(\omega_2) = F_s(\omega_2) + E(\omega_2)N(\omega_2) \\ \vdots \\ F'_r(\omega_n) = F_s(\omega_n) + E(\omega_n)N(\omega_n) \end{cases} \quad (3)$$

假设噪声为高斯白噪声,则 $|N(\omega_i)|$ 为常数,故

系统中噪声放大状况取决于 $\sum_{i=1}^n \text{sum}(|E(\omega_i)| \cdot ^2)$ 。

现定义 $\beta = \sum_{i=1}^n \text{sum}(|E(\omega_i)| \cdot ^2)$ 为噪声放大因子,其中: $|| \cdot ^2$ 表示对矩阵元素求模后对矩阵点乘; $\text{sum}()$ 表示对矩阵所有元素求和。

由于 $E(\omega_i) = H^{-1}(\omega_i)$, $H(\omega_i)$ 表示使用资源块 w_i 的上行传输矩阵:

$$H(w_i) = \begin{bmatrix} H_{(1,1_cell)}(w_i) & \cdots & H_{(M,1_cell)}(w_i) \\ H_{(1,2_cell)}(w_i) & \cdots & H_{(M,2_cell)}(w_i) \\ \vdots & & \vdots \\ H_{(1,M_cell)}(w_i) & \cdots & H_{(M,M_cell)}(w_i) \end{bmatrix}_{M \times M}$$
$$M = \sum_{k \in \gamma(RRU)} \sum_{j \in \phi(k)} \alpha_{k,\omega_i}(j)。$$

于是,可以得到系统的最优化模型如下:

$$\begin{cases} \min(\beta = \sum_{i=1}^n \text{sum}(|E(\omega_i)| \cdot ^2)) \\ \text{s. t.} \begin{cases} \omega_i \in W \\ \sum_{j \in \phi(k)} \alpha_{k,\omega_i}(j) \leq 1, \forall k \in \gamma(RRU) \\ \sum_{\omega_i \in W} \alpha_{k,\omega_i}(l) \leq 1, \forall l \in \gamma(RRU), \forall k \in \gamma(RRU) \end{cases} \end{cases}。$$

式中: $\gamma(RRU)$ 是 RRU 的 ID 号集合; $\phi(k)$ 是 ID 号为 k 的 RRU 中的所有用户构成的集合; W 是系统中频率资源块的集合; j 是用户 ID; l 是新接入用户 ID; $\alpha_{k,\omega_i}(j) = 1$ 表示小区 k 中用户 j 使用资源块 ω_i ; $\alpha_{k,\omega_i}(j) = 0$ 表示小区 k 中用户 j 没有使用资源块 ω_i ; $H_{(m,x_cell)}(\omega_i)$ 表示使用资源块 ω_i 时用户 m 到用户 x 归属小区 RRU 间的信道衰落。

3 频率资源分配机制

为了使用户信号在接收端所接收到的平均噪声

功率最小,从而提升干扰消除矩阵抵抗背景噪声放大的能力,本节以最小化噪声放大因子为最优化目标,结合遗传算法留优舍次的原理提出适用于干扰消除矩阵接收的资源分配机制,具体操作如下:

Step 1 时间周期到达,判断是否有退出用户释放资源,如果有,则执行 Step 2,否则执行 Step 3;

Step 2 修改资源使用情况;

Step 3 基带资源池判断是否有新用户接入,若有则执行 Step 3,若无则等待下一个周期;

Step 4 基带资源池设置资源分配样本数 λ (λ 为偶数),重复参数 $a=0$,并设置稳定点 A (A 为整数);

Step 5 基带资源池将未使用的资源块按小区 ID 存入对应可用资源缓存,并随机选择一个可用资源缓存中的资源块给本小区的新用户,同时将已分配的资源块从该缓存中删除;

Step 6 重复 Step 5 生成 λ 组新用户资源分配样本构成样本空间;

Step 7 基带资源池针对每一组资源分配样本,根据文献[1]计算该情况干扰消除矩阵,并且计算噪声放大因子 β ,并按照 β 的升序进行排列;

Step 8 将噪声放大因子较小的前 $\lambda/2$ 组的资源分配方案依次与资源分配集合中的前 $\lambda/2$ 组资源分配方案进行比较,判断比较结果是否完全一致,若一致,则 $a=a+1$,并判断是否到达门限 A ,如果已到达门限,则将样本空间中的第一组资源分配作为最终资源分配结果,并退出资源分配;如果没有达到,则执行 Step 8;若不一致,则设置 $a=0$,并执行 Step 8;

Step 9 随机选择 $2n$ 组资源分配并两两组队,然后读取属于同一组队中的资源分配样本,将两个样本中同一用户的对应资源在保证同一个小区不同用户使用的资源不同的情况下以 $1/2$ 的概率选择交换,对没有被取到的新用户资源分配样本做变异处理;

Step 10 将噪声放大因子较小的前 $\lambda/2$ 组资源分配方案按噪声放大因子从小到大依次覆盖资源分配集合中的前 $\lambda/2$ 组方案,将经过处理的资源分配方案依次覆盖资源分配集合中的后 $\lambda/2$ 组方案,并返回 Step 5 进行处理。

该资源分配机制对应的处理流程图如图 1 所示。

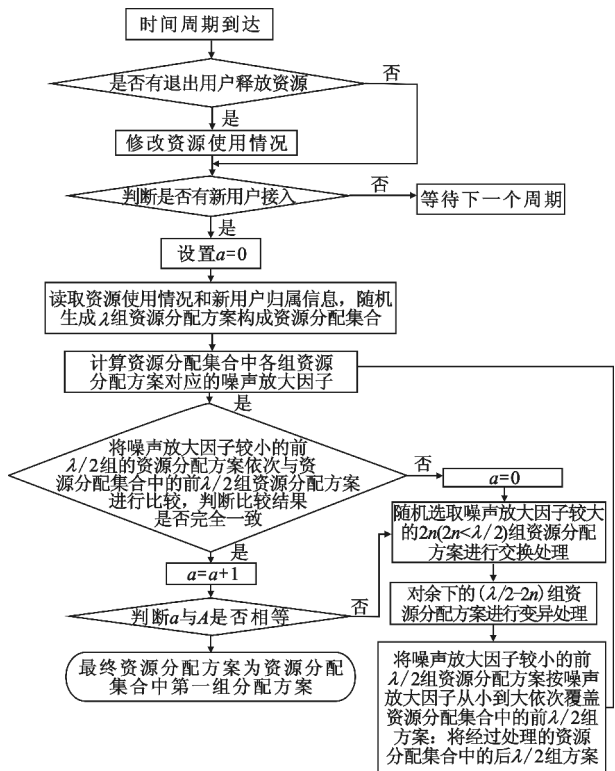


图 1 资源分配机制流程图

Fig. 1 Flow chart of resource allocation mechanism

4 仿真分析

在仿真中设定 19 个 RRU 和 120 个 UE, 每个 RRU 所在小区的半径为 100 m, 每个小区具有 20 个资源块 (根据 LTE 标准, 一个资源块占据 180 Hz 的带宽), 资源复用系数为 1, 资源分配样本空间 $\lambda = 10$, 稳定点 $A = 200$, RRU 所覆盖的蜂窝区域中的 UE 作为该 RRU 所在小区的用户, 其中 120 个 UE 在整个系统内服从均匀随机分布, 在每个小区中随机选出 M 个用户 ($M \leq 20$), 并分配资源作为初始通信 UE, 在剩余 UE 中随机选择 UE 作为新接入用户。不同 UE 到 RRU 之间的信道相互独立。信道估计误差服从 $N \sim (0, \beta^2)$ 的正态分布, $\beta^2 = -70$ dB。信道模型根据文献[10]设定为

$$y_j = (P_i)^{1/2} h_{ij} s_i + n_j$$

式中: P_i 为第 i 个 UE 的发射功率, 为了简便都设置为 20 mW; $h_{ij} = \alpha g_{ij} / (d^3)^{1/2}$ 为第 i 个 UE 到第 j 个 RRU 的信道增益, α 为频率衰落因子, d 为发送端到接收端的距离, $g_{ij} = a + bj$, a 和 b 的 $N \sim (0, 1/\sqrt{2})$ 的正态分布; n_j 为 RRU_j 的噪声, 服从 $N \sim (0, N_0)$ 的正态分布。

图 2 为采用 64QAM 调制方式下不同接收方式

的系统误码率。从该图可以看出,当系统采用相同的随机资源分配算法时,干扰消除矩阵接收方式与直接放大接收比较误码率虽然有了明显减小,但仍然受到背景噪声放大的影响。当背景噪声功率逐渐增大时,两种方法在误码率方面性能逐渐接近。而利用本文所提出的频率资源分配与干扰消除技术结合,同样采用干扰消除矩阵接收方式,误码率有了明显降低,特别是性背景噪声较小的情况下。

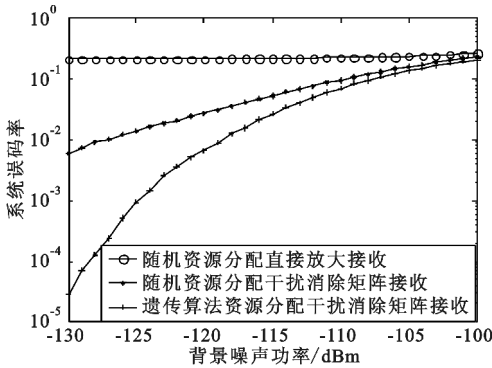


图2 64QAM 调制情况下背景噪声-系统误码率
Fig.2 The system error rate under 64QAM modulation at different noise level

图3 为同样采用64QAM 调制方式,背景噪声功率谱密度为174 dBm/Hz下的系统误码率。从该图可以看出,当系统采用相同的随机资源分配算法时,随着系统中新接入用户数的增加,干扰消除矩阵接收方式的误码率始终远小于传统直接放大接收方式,但相比于结合了本文所提出的频率资源分配机制后的干扰消除矩阵接收,随机资源分配干扰消除矩阵的性能又明显较差。由此可见,本文所提出的资源分配机制在不同新接入用户数情况下都能有效提升干扰消除矩阵的性能。

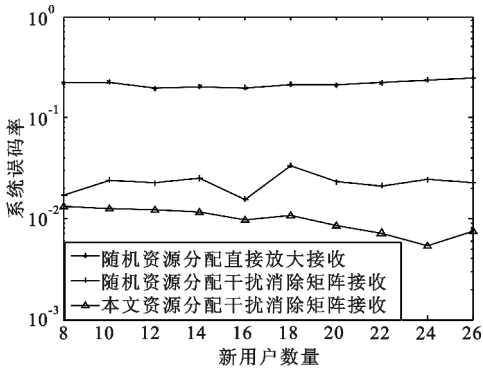


图3 64QAM 调制下新用户数量-系统误码率
Fig.3 The system error rate under 64QAM modulation at different new user number

图4 是在背景噪声功率谱密度为174 dBm/Hz 时,系统吞吐量随新用户人数变化的性能图。可以看出当系统采用相同的随机资源分配算法时,随着系统中新接入用户数的增加,干扰消除矩阵接收方式的系统吞吐量始终大于传统直接放大接收方式;采用本文频率资源分配机制吞吐量明显优于随机资源分配干扰消除矩阵接收。

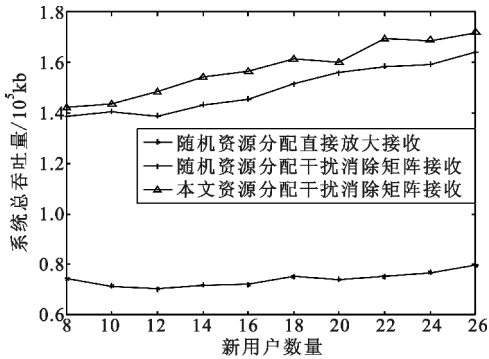


图4 新用户数量-系统吞吐量
Fig.4 The system throughput at different new user number

图5 中,从用户吞吐量公平性的角度来看,采用本文资源分配机制的干扰消除矩阵接收下的用户公平性也明显优于其他两种情况。

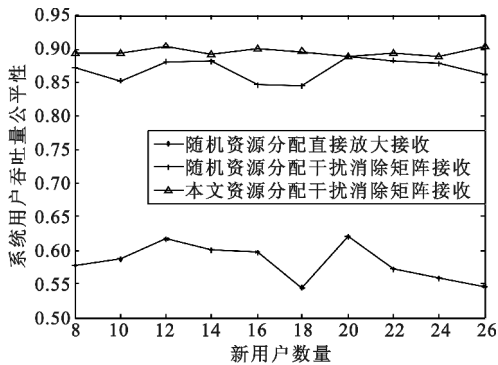


图5 新用户数量-用户公平性
Fig.5 The user fairness at different new user number

由上述仿真结果可以分析出,在干扰消除矩阵接收方式中加入本文提出的频率资源分配机制后,最小化了接收端的背景噪声放大功率,从而在多个方面提升了干扰消除矩阵接收的性能,由此达到了优化干扰矩阵接收方式的目的。

5 结束语

本文针对文献[1]提出的干扰消除矩阵方法会带来背景噪声放大问题,利用其所提到的矩阵乘法

形式的上行传输收发模型,分别对不同频率下的干扰消除矩阵求模并计算对应的噪声放大倍数,并对所有频率下的噪声放大倍数相加,从而确定出系统噪声放大因子;并以最小化放大因子为最优化目标,同时以小区内任意频率资源块只能被唯一用户使用并且各用户只被分配一个资源块为限制条件,从而构建能够使得网络系统中背景噪声放大最小化的最优化数学模型;并且提出利用遗传算法求解方法,从而得到了与文献[1]相适应的资源分配机制。仿真结果表明:加入该频率分配机制后的干扰消除矩阵相比于未加入该机制时,误码率和公平性等性能都有了明显提升。

但在实际通信中,由于各个用户都是移动的,使用同一资源的用户在不同位置的干扰情况是不同的。因此,系统的干扰情况是随着时间的变化而变化的。在未来的研究中,为了进一步适应系统干扰情况的变化,应动态地对系统中的已通话用户的资源进行重新分配,从而保证平均放大噪声在整个通话过程中都能达到最小。

参考文献:

- [1] 何宏智,刘占军,李云鹏,等.一种 C-RAN 架构无线网络中的干扰抑制方法[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2015,27(4):493-498.
HE Hongzhi, LIU Zhanjun, LI Yunpeng, et al. Interference suppression method in wireless network of C-RAN architecture[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2015, 27(4):493-498. (in Chinese)
- [2] 王晓云,黄宇红,崔春风,等. C-RAN:面向绿色的未来无线接入网演进[J].中国通信,2010,7(3):107-112.
WANG Xiaoyun, HUANG Yuhong, CUI Chunfeng, et al. C-RAN: evolution toward green radio access network[J]. China Communications, 2010, 7(3):107-112. (in Chinese)
- [3] WU J, ZHANG Z F, HONG Y, et al. Cloud radio access network (C-RAN): a primer[J]. IEEE Communications Society, 2015, 29(1):35-41.
- [4] SHI Q J, XU W Q, LI D P, et al. On the energy efficiency optimality of OFDMA for SISO-OFDM downlink system[J]. IEEE Communications Letters, 2013, 17(3):541-544.
- [5] LI G Q, LIU H. On the optimality of the OFDMA network[J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(5):438-440.
- [6] WANG W Y, WU R B. Optimal resource allocation in OFDM multihop system[C]//Proceedings of Fourth International Conference on Communications and Networking in China. Xi'an: IEEE, 2009:1-4.
- [7] ZHU H L, WANG J Z. Radio resource allocation in multi-

user distributed antenna systems[J]. IEEE Selected Areas in Communications, 2013, 31(10):2058-2066.

- [8] 马永杰,云文霞.遗传算法研究进展[J].计算机应用研究,2012,29(4):1201-1207.
MA Yongjie, YUN Wenxia. Research progress of genetic algorithm[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(4):1201-1207. (in Chinese)
- [9] GUO P F, WANG X Z, HAN Y S. The enhanced genetic algorithms for the optimization design [C]//Biomedical Engineering and Informatics (BMEI). Yantai: IEEE, 2010:2990-2994.
- [10] 吕政,余志军,刘海涛.协作通信中联合信道-网络编码的性能分析与资源分配[J].西安交通大学学报,2012,46(4):83-87.
LYU Zheng, YU Zhijun, LIU Haitao. Performance study and resource allocation of joint channel-network coding in cooperative communication[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2012, 46(4):83-87. (in Chinese)

作者简介:



刘占军(1975—),男,河北人,2004 年于重庆邮电大学获硕士学位,现为副教授,主要研究方向为无线通信和移动通信;

LIU Zhanjun was born in Hebei Province, in 1975. He received the M. S. degree from Chongqing University of Posts and Telecommunications in 2004. He is now an associate professor. His research concerns wireless communication networks and mobile telecommunication.

Email:liuzj@cqupt.edu.cn

彭霞(1991—),女,重庆人,2013 年于重庆三峡学院获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为无线通信;

PENG Xia was born in Chongqing, in 1991. She received the B. S. degree from Chongqing Three Georges University in 2013. She is now a graduate student. Her research concerns wireless communication networks.

Email:454660432@qq.com

何宏智(1989—),男,重庆人,2012 年于重庆三峡学院获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为无线通信;

HE Hongzhi was born in Chongqing, in 1989. He received the B. S. degree from Chongqing Three Georges University in 2012. He is now a graduate student. His research concerns wireless communication networks.

Email:408099943@qq.com

周诗妍(1991—),女,重庆人,2013 年于重庆邮电大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为无线通信。

ZHOU Shiyan was born in Chongqing, in 1991. She received the B. S. degree from Chongqing University of Posts and Telecommunications in 2013. She is now a graduate student. Her research concerns wireless communication networks.

Email:370127990@qq.com