



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112702790 B

(45) 授权公告日 2023. 01. 24

(21) 申请号 202011446599.3

(22) 申请日 2020.12.11

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112702790 A

(43) 申请公布日 2021.04.23

(73) 专利权人 北京科技大学
地址 100083 北京市海淀区学院路30号
专利权人 北京科技大学顺德研究生院

(72) 发明人 陈月云 刘媛 杜利平

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限
责任公司 11237
专利代理师 张仲波 邓琳

(51) Int. Cl.
H04W 72/04 (2009.01)

(56) 对比文件

CN 111315017 A, 2020.06.19

CN 102752864 A, 2012.10.24

CN 109218004 A, 2019.01.15

张鹏举 等. SCMA 系统中一种新节能资源分
配算法.《激光杂志》.2020,第4卷(第6期),全文.

DAOSEN ZHAI. Adaptive Codebook Design
and Assignment for Energy Saving in SCMA
Networks.《IEEE ACCESS》.2017,全文.

审查员 陈静

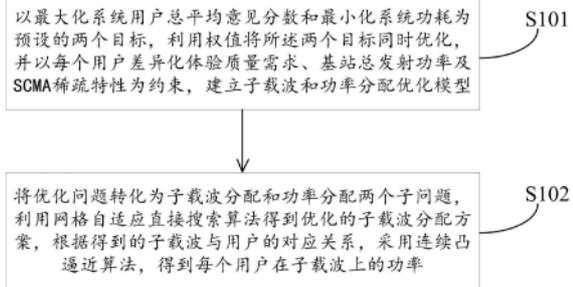
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种SCMA系统的子载波和功率分配方法

(57) 摘要

本发明公开了一种SCMA系统的子载波和功率分配方法,包括:以最大化系统用户总平均意见分数和最小化系统功耗为预设的两个目标,利用权值将所述两个目标同时优化,并以每个用户差异化体验质量需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,建立子载波和功率分配优化模型;将优化问题转化为子载波分配和功率分配两个子问题,利用网格自适应直接搜索算法得到优化的子载波分配方案,根据得到的子载波与用户的对应关系,采用连续凸逼近算法,得到每个用户在子载波上的功率。本发明能够有效提升用户QoE,并实现QoE和系统功耗间的折衷。



1. 一种SCMA系统的子载波和功率分配方法,其特征在于,包括以下步骤:

以最大化系统用户总平均意见分数MOS和最小化系统功耗为预设的两个目标,利用权值将所述两个目标同时优化,并以每个用户差异化体验质量需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,建立子载波和功率分配优化模型;

具体地, MOS_k 为用户k的MOS函数,在网页浏览业务下表示为:

$$MOS_k = -K_1 \ln(d(R_k)) + K_2$$

其中 K_1 和 K_2 是常数,通过对网页浏览应用的实验结果进行分析确定;函数 $d(R_k)$ 表示用户发送网页请求到接收到整个网页内容之间的时间延迟,表示为:

$$d(R_k) = 3RTT + \frac{FS}{R_k} + L \left(\frac{MSS}{R_k} + RTT \right) - \frac{2MSS(2^L - 1)}{R_k}$$

其中 R_k 表示数据速率,RTT表示往返时间,FS表示网页大小,并且MSS表示最大片段大小,参数L表示具有空闲周期的慢启动周期数,即用户和服务器在网页下载期间的包交换周期, $L = \min[L_1, L_2]$,其中参数 L_1 表示阻塞窗口到达带宽延迟乘积所需的循环数, L_2 表示在网页

大小被完全传输之前的慢启动周期数, $L_1 = \log_2 \left(\frac{R_k RTT}{MSS} + 1 \right) - 1$, $L_2 = \log_2 \left(\frac{FS}{2MSS} + 1 \right) - 1$;

往返时间RTT对MOS功能的影响很小,假设 $RTT \approx 0$,则用户k的MOS函数 MOS_k 简化为:

$$\begin{aligned} MOS_k &= -K_1 \ln(d(R_k)) + K_2 \\ &= -K_1 \ln \left(\frac{FS_k}{R_k} \right) + K_2 \\ &= -K_1 \ln FS_k + K_1 \ln R_k + K_2 \end{aligned}$$

其中, FS_k 是用户网页大小;

同一子载波上信道增益大的用户会对信道增益小的用户造成干扰,则用户k在子载波j上的信干噪比 $SINR_{k,j}$ 表示为:

$$SINR_{k,j} = \frac{|h_{k,j}|^2 p_{k,j}}{\sigma^2 + \sum_{i \in \{K_j \mid |h_{i,j}|^2 > |h_{k,j}|^2\}} |h_{i,j}|^2 p_{i,j}}$$

其中, $p_{k,j}$ 为在子载波j上用户k分得的功率, $h_{k,j}$ 是用户k和子载波j之间的信道系数, K_j 表示根据子载波分配结果可知的子载波j上承载的用户中信道增益比用户k大的用户集合,噪声方差为 σ^2 ;

实际的用户k在子载波j上的可实现速率为:

$$R_{k,j} = B \log_2 (1 + SINR_{k,j})$$

其中B为子载波带宽,之后每个用户的数据速率表示为:

$$R_k = \sum_{j=1}^J f_{k,j} R_{k,j}$$

其中J表示总子载波数, $f_{k,j}$ 为因子矩阵F中的参数,表示子载波分配的情况,为0或1变量;

系统总功耗 P_{total} 表示为:

$$P_{total} = \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J f_{k,j} p_{k,j}$$

其中, ε 表示功率放大因子, K 表示总用户数, J 表示总子载波数, $p_{k,j}$ 为在子载波 j 上用户 k 分得的功率, $f_{k,j}$ 表示子载波分配情况,是因子矩阵中的参数,定义为0或1变量;

利用权值将所述两个目标同时优化,并以每个用户差异化体验质量需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,表示为:

$$(P) \max_{f_{k,j}, p_{k,j}} \lambda_1 \sum_{k=1}^K MOS_k - \lambda_2 P_{total}$$

$$s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J f_{k,j} p_{k,j} \leq P_{max}$$

$$p_{k,j} \geq 0, \quad \forall k \in K, \forall j \in J$$

$$MOS_k \geq MOS_{k,min}, \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{j=1}^J f_{k,j} \leq N, \quad \forall k \in K$$

$$\sum_{k=1}^K f_{k,j} \leq d_f, \quad \forall j \in J$$

$$f_{k,j} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall j \in J$$

其中, K 表示总用户数, J 表示总子载波数, MOS_k 为用户 k 的平均意见分数函数,是用户体验质量的量化指标, $MOS_{k,min}$ 表示用户 k 所要求的最小平均意见分数, P_{total} 为系统总功耗, λ_1 和 λ_2 分别表示用户总平均意见分数和系统功耗的权重系数; $p_{k,j}$ 为在子载波 j 上用户 k 分得的功率,如果用户 k 不占用子载波 j ,则 $p_{k,j}$ 为0, $f_{k,j}$ 为用户 k 与子载波 j 的对应情况,即子载波分配情况,是因子矩阵中的参数,定义为0或1变量, P_{max} 表示基站处给定的总功率, N 为用户 k 占用的最大子载波数, d_f 为子载波 j 可承载的最大用户数;

将优化问题转化为子载波分配和功率分配两个子问题,利用网格自适应直接搜索算法得到优化的子载波分配方案,根据得到的子载波与用户的对应关系,采用连续凸逼近算法,得到每个用户在子载波上的功率;

其中,在子载波分配子问题中,目标和约束中的变量只包含 $f_{k,j}$,整个问题为整数非线性规划问题,通过网格自适应直接搜索算法求解,得到优化的因子矩阵,作为功率分配的前提条件;

根据得到的子载波与用户的对应关系进行功率分配具体包括:

因子矩阵转变为稀疏的常数矩阵,只包含0和1,功率分配问题 P 简化为:

$$(P1) \max_{p_{k,j}} \lambda_1 \sum_{k=1}^K MOS_k - \lambda_2 P_{total}$$

$$s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \leq P_{max}$$

$$p_{k,j} > 0, \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$MOS_k \geq MOS_{k,\min}, \forall k \in K$$

其中, P1表示功率分配子问题, 基于得到的所述子载波与用户的对应关系, 利用连续凸逼近算法, 得到每个用户在子载波上的功率。

2. 根据权利要求1所述的SCMA系统的子载波和功率分配方法, 其特征在于, 所述用户k的平均意见分数函数用于对用户业务体验质量进行量化, 对于不同的无线网络业务, 采用不同的平均意见分数模型衡量其体验质量。

一种SCMA系统的子载波和功率分配方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信技术领域,特别涉及一种SCMA系统的子载波和功率分配方法。

背景技术

[0002] 随着无线通信网络的飞速发展,数据流量爆炸式增长,传统的正交多址接入(Orthogonal Multiple Access,OMA)技术在支持超高系统容量和海量用户连接方面遇到了瓶颈,已不能满足5G通信需求。因此,新型多址技术被提出并引起了工业界和学术界的广泛重视。其中,稀疏码多址接入技术(Sparse Code Multiple Access,SCMA)可以有效提高用户接入密度和频谱利用率。

[0003] 现今频谱资源稀缺与设备和流量的急剧增长相互矛盾,因此研究SCMA资源分配具有十分重要的意义。目前,关于SCMA资源分配的研究较少,且现有研究主要以最大化传输速率和最大化系统能效为目标,未发现针对SCMA系统用户体验质量(Quality of Experience,QoE)的研究。因此,考虑优化用户业务QoE,结合降低系统功耗的思想,对SCMA系统子载波和功率资源的分配展开研究具有重要意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种SCMA系统的子载波和功率分配方法,以优化用户业务QoE和功耗,通过子载波和功率资源的分配,有效提升用户QoE,并实现QoE和系统功耗间的折衷。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明的实施例提供如下方案:

[0006] 一种SCMA系统的子载波和功率分配方法,包括以下步骤:

[0007] 以最大化系统用户总平均意见分数(Mean Opinion Score,MOS)和最小化系统功耗为预设的两个目标,利用权值将所述两个目标同时优化,并以每个用户差异化体验质量(Quality of Experience,QoE)需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,建立子载波和功率分配优化模型;

[0008] 将优化问题转化为子载波分配和功率分配两个子问题,利用网格自适应直接搜索(Mesh Adaptive Direct Search,MADS)算法得到优化的子载波分配方案,根据得到的子载波与用户的对应关系,采用连续凸逼近(Successive Convex Approximation,SCA)算法,得到每个用户在子载波上的功率。

[0009] 进一步地,所述利用权值将所述两个目标同时优化,并以每个用户差异化体验质量(QoE)需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,表示为:

$$[0010] \quad (P) \quad \max_{f_{k,j}, P_{k,j}} \lambda_1 \sum_{k=1}^K MOS_k - \lambda_2 P_{total}$$

$$[0011] \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J f_{k,j} P_{k,j} \leq P_{max}$$

$$[0012] \quad p_{k,j} \geq 0, \forall k \in K, \forall j \in J$$

$$[0013] \quad MOS_k \geq MOS_{k,\min}, \forall k \in K$$

$$[0014] \quad \sum_{j=1}^J f_{k,j} \leq N, \forall k \in K$$

$$[0015] \quad \sum_{k=1}^K f_{k,j} \leq d_f, \forall j \in J$$

$$[0016] \quad f_{k,j} \in \{0,1\}, \forall k \in K, \forall j \in J$$

[0017] 其中,K表示总用户数,J表示总子载波数, MOS_k 为用户k的平均意见分数(MOS)函数,是用户体验质量的量化指标, $MOS_{k,\min}$ 表示用户k所要求的最小平均意见分数(MOS), P_{total} 为系统总功耗, λ_1 和 λ_2 分别表示用户总平均意见分数(MOS)和系统功耗的权重系数; $p_{k,j}$ 为在子载波j上用户k分得的功率,如果用户k不占用子载波j,则 $p_{k,j}$ 为0, $f_{k,j}$ 为用户k与子载波j的对应情况,即子载波分配情况,是因子矩阵中的参数,定义为0-1之间的变量, P_{\max} 表示基站处给定的总功率,N为用户k占用的最大子载波数, d_f 为子载波j可承载的最大用户数。

[0018] 进一步地,所述用户k的平均意见分数函数用于对用户业务体验质量(QoE)进行量化,对于不同的无线网络业务,采用不同的平均意见分数(MOS)模型衡量其体验质量(QoE)。

[0019] 进一步地,所述系统总功耗 P_{total} 表示为:

$$[0020] \quad P_{total} = \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J f_{k,j} p_{k,j}$$

[0021] 其中, ε 表示功率放大因子,K表示总用户数,J表示总子载波数, $p_{k,j}$ 为在子载波j上用户k分得的功率, $f_{k,j}$ 表示子载波分配情况,是因子矩阵中的参数,定义为0-1之间的变量。

[0022] 进一步地,独立的子载波分配子问题属于整数非线性规划问题,所述方法包括运用网格自适应直接搜索算法得到优化的子载波分配方案。

[0023] 进一步地,所述根据得到的子载波与用户的对应关系进行功率分配具体包括:

[0024] 因子矩阵转变为稀疏的常数矩阵,只包含0和1,功率分配问题P简化为:

$$[0025] \quad (P1) \max_{p_{k,j}} \lambda_1 \sum_{k=1}^K MOS_k - \lambda_2 P_{total}$$

$$[0026] \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \leq P_{\max}$$

$$[0027] \quad p_{k,j} > 0, \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0028] \quad MOS_k \geq MOS_{k,\min}, \forall k \in K$$

[0029] 其中,P1表示功率分配子问题,基于得到的所述子载波与用户的对应关系,利用连续凸逼近算法,得到每个用户在子载波上的功率。

[0030] 本发明实施例提供的技术方案带来的有益效果至少包括:

[0031] 本发明实施例中,将SCMA系统中上层用户QoE需求转化为MOS目标和约束,以最大化系统用户总MOS和最小化系统功耗为目标,利用权值将两个目标同时优化,并以每个用户

最小MOS需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,进行子载波和功率资源的分配,能够有效提高用户QoE,并在用户QoE和系统功耗间得到折衷。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0033] 图1是本发明实施例提供的一种SCMA系统的子载波和功率分配方法的流程图;

[0034] 图2是本发明实施例提供的系统用户总MOS值随系数 η 变化的情况示意图;

[0035] 图3是本发明实施例提供的一种系统总功耗随系数 η 变化的情况示意图。

具体实施方式

[0036] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0037] 本发明的实施例提供一种SCMA系统的子载波和功率分配方法,结合每个用户差异化QoE需求,有效提高用户QoE,并在用户QoE和系统功耗间得到折衷;其中,多个用户占用相同的子载波,用户在小区中随机分布,与基站的距离各不相同,信道相互独立且服从瑞利分布。

[0038] 基于上述问题,本发明实施例提供的一种SCMA系统的子载波和功率分配方法如图1所示,包括以下步骤:

[0039] S101,以最大化系统用户总平均意见分数(Mean Opinion Score,MOS)和最小化系统功耗为预设的两个目标,利用权值将所述两个目标同时优化,并以每个用户差异化体验质量(Quality of Experience,QoE)需求、基站总发射功率及SCMA稀疏特性为约束,建立子载波和功率分配优化模型;

[0040] MOS_k 为用户k的MOS函数,例如在网页浏览业务下,可以表示为:

$$[0041] \quad MOS_k = -K_1 \ln(d(R_k)) + K_2$$

[0042] 其中 K_1 和 K_2 是常数,可通过对网页浏览应用的实验结果进行分析确定。函数 $d(R_k)$ 表示用户发送网页请求(如HTTP请求信息)到接收到整个网页内容之间的时间延迟,延迟取决于多种因素,例如网页大小、往返时间和TCP,HTTP等协议的影响,可以表示为:

$$[0043] \quad d(R_k) = 3RTT + \frac{FS}{R_k} + L \left(\frac{MSS}{R_k} + RTT \right) - \frac{2MSS(2^L - 1)}{R_k}$$

[0044] 其中 R_k [bit/s]表示数据速率,RTT [s]表示往返时间,FS [bit]表示网页大小,并且MSS [bit]表示最大片段大小,参数L表示具有空闲周期的慢启动周期数(用户和服务器在网页下载期间的包交换周期), $L = \min[L_1, L_2]$,其中参数 L_1 表示阻塞窗口到达带宽延迟乘积所需的循环数, L_2 表示在网页大小被完全传输之前的慢启动周期数,

$$L_1 = \log_2 \left(\frac{R_k RTT}{MSS} + 1 \right) - 1, \quad L_2 = \log_2 \left(\frac{FS}{2MSS} + 1 \right) - 1。$$

[0045] 用户从发出请求到收到完整的网页所经过的往返时间RTT对MOS功能的影响很小，可假设 $RTT \approx 0$ ，则用户k的MOS函数 MOS_k ，可以简化为：

$$MOS_k = -K_1 \ln(d(R_k)) + K_2$$

$$[0046] \quad = -K_1 \ln\left(\frac{FS_k}{R_k}\right) + K_2$$

$$= -K_1 \ln FS_k + K_1 \ln R_k + K_2$$

[0047] 其中， $C_k = -K_1 \ln FS_k + K_2 = K_2 + K_1 \ln \frac{1}{FS_k}$ 是与用户网页大小 FS_k 有关的常数。

[0048] 同一子载波上信道增益大的用户会对信道增益小的用户造成干扰，则用户k在子载波j上的信干噪比(Signal to Interference Noise Ratio, SINR) $SINR_{k,j}$ 可以表示为：

$$[0049] \quad SINR_{k,j} = \frac{|h_{k,j}|^2 p_{k,j}}{\sigma^2 + \sum_{i \in \{K_j \mid |h_{i,j}|^2 > |h_{k,j}|^2\}} |h_{i,j}|^2 p_{i,j}}$$

[0050] 其中， $p_{k,j}$ 为在子载波j上用户k分得的功率， $h_{k,j}$ 是用户k和子载波j之间的信道系数， K_j 表示根据子载波分配结果可知的子载波j上承载的用户中信道增益比用户k大的用户集合，噪声方差为 σ^2 。

[0051] 实际的用户k在子载波j上的可实现速率为：

$$[0052] \quad R_{k,j} = B \log_2(1 + SINR_{k,j})$$

[0053] 其中B为子载波带宽，之后每个用户的数据速率就可以表示为：

$$[0054] \quad R_k = \sum_{j=1}^J f_{k,j} R_{k,j}$$

[0055] 其中J表示总子载波数， $f_{k,j}$ 为因子矩阵F中的参数，表示子载波分配的情况，为0-1变量。

[0056] 系统总功耗 P_{total} 表示为：

$$[0057] \quad P_{total} = \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J f_{k,j} p_{k,j}$$

[0058] 其中， ε 表示功率放大因子，K表示总用户数。

[0059] 根据前述理论基础，以最大化用户总MOS和最小化系统功耗为目标进行资源分配的问题表示为：

$$[0060] \quad (P) \quad \max_{f_{k,j}, p_{k,j}} \lambda_1 \sum_{k=1}^K MOS_k - \lambda_2 P_{total}$$

$$[0061] \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J f_{k,j} p_{k,j} \leq P_{max}$$

$$[0062] \quad p_{k,j} \geq 0, \quad \forall k \in K, \forall j \in J$$

$$[0063] \quad MOS_k \geq MOS_{k,min}, \quad \forall k \in K$$

$$[0064] \quad \sum_{j=1}^J f_{k,j} \leq N, \quad \forall k \in K$$

$$[0065] \quad \sum_{k=1}^K f_{k,j} \leq d_f, \quad \forall j \in J$$

$$[0066] \quad f_{k,j} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall j \in J$$

[0067] 其中 $MOS_{k,\min}$ 表示用户 k 所要求的最小 MOS, λ_1 和 λ_2 分别表示用户总 MOS 和系统功耗的权重系数。 P_{\max} 表示基站处给定的总功率, N 为用户 k 占用的最大子载波数, d_f 为子载波 j 可承载的最大用户数。

[0068] S102, 将优化问题转化为子载波分配和功率分配两个子问题, 利用网格自适应直接搜索 (Mesh Adaptive Direct Search, MADS) 算法得到优化的子载波分配方案, 根据得到的子载波与用户的对应关系, 采用连续凸逼近 (Successive Convex Approximation, SCA) 算法, 得到每个用户在子载波上的功率。

[0069] 在子载波分配子问题中, 目标和约束中的变量只包含 $f_{k,j}$, 整个问题为整数非线性规划问题, 对于此种问题可运用 MADS 算法求解, 此算法是局部搜索和方向筛选结合的方式进行搜索, 有效减少计算代价, 有更快的计算速度和收敛性, 其优化变量可以是离散的、连续的或者二进制等, 子载波分配变量 $f_{k,j}$ 是二进制变量, 因此, 问题 (P) 中的子载波分配子问题可通过 MADS 算法求解, 得到优化的因子矩阵, 作为功率分配的前提条件。

[0070] 利用得到的子载波和用户对应关系进行功率分配, 此时因子矩阵变为稀疏的常数矩阵, 只包含 0 和 1, 问题 (P) 简化为:

$$[0071] \quad (P1) \quad \max_{P_{k,j}} \lambda_1 \sum_{k=1}^K MOS_k - \lambda_2 P_{total}$$

$$[0072] \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \leq P_{\max}$$

$$[0073] \quad p_{k,j} > 0, \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0074] \quad MOS_k \geq MOS_{k,\min}, \quad \forall k \in K$$

[0075] 其中, 问题 (P1) 表示功率分配子问题, 利用连续凸逼近算法, 得到每个用户在子载波上的功率。

[0076] 首先运用琴生不等式的性质和多项式的性质对目标函数进行变换, 得到问题 (P2) 包括:

$$\begin{aligned}
& \lambda_1 \sum_{k=1}^K \left(K_1 \ln \left(\sum_{j \in J_k} R_{k,j} \right) + C_k \right) - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \\
[0077] \quad & \stackrel{(2)}{=} \lambda_1 \sum_{k=1}^K K_1 \ln \left(\sum_{j \in J_k} \frac{N_k R_{k,j}}{N_k} \right) + \lambda_1 \sum_{k=1}^K C_k - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \\
& \stackrel{(1)}{\geq} \lambda_1 \sum_{k=1}^K K_1 \sum_{j \in J_k} \frac{1}{N_k} \ln(N_k R_{k,j}) + \lambda_1 \sum_{k=1}^K C_k - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \\
& \stackrel{(2)}{=} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} \lambda_1 K_1 \frac{1}{N_k} \ln(N_k R_{k,j}) + \lambda_1 \sum_{k=1}^K C_k - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j}
\end{aligned}$$

[0078] 此时,问题(P1)可以等效地表示为问题(P2)

$$[0079] \quad (P2) \quad \max_{p_{k,j}, R_{k,j}} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} \lambda_1 K_1 \frac{1}{N_k} \ln(N_k R_{k,j}) + \lambda_1 \sum_{k=1}^K C_k - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j}$$

$$[0080] \quad s.t. \quad R_{k,j} \leq B \log_2 \left(1 + \frac{|h_{k,j}|^2 p_{k,j}}{\sigma^2 + \sum_{i \in \{K_j \mid |h_{i,j}|^2 > |h_{k,j}|^2\}} |h_{i,j}|^2 p_{i,j}} \right), \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0081] \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j} \leq P_{\max}$$

$$[0082] \quad p_{k,j} > 0, \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0083] \quad \sum_{j \in J_k} R_{k,j} \geq e^{\frac{MOS_{k,\min} - C_k}{K_1}}, \quad \forall k \in K$$

[0084] 其中,问题(P2)中包含两个变量 $p_{k,j}$ 和 $R_{k,j}$,可以判断问题(P2)是非凸的。

[0085] 针对问题(P2),变换变量形式为:

$$[0086] \quad e^{a_{k,j}} = 2^{\frac{1}{B} R_{k,j}} - 1, \quad e^{b_{k,j}} = p_{k,j}, \quad \forall k \in K, \forall j \in J$$

[0087] 其中, $a_{k,j}, b_{k,j}$ 为松弛变量,可以得到下述问题(P3):

$$[0088] \quad (P3) \quad \max_{p_{k,j}, R_{k,j}, a_{k,j}, b_{k,j}} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} \lambda_1 K_1 \frac{1}{N_k} \ln(N_k R_{k,j}) + \lambda_1 \sum_{k=1}^K C_k - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j}$$

$$[0089] \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j}(b) \leq P_{\max}$$

$$[0090] \quad R_{k,j} \leq B \log_2(1 + e^{a_{k,j}}), \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0091] \quad e^{a_{k,j} - b_{k,j}} \left(\sum_{i \in \{K_j \mid |h_{i,j}|^2 > |h_{k,j}|^2\}} e^{b_{i,j}} + \frac{\sigma^2}{|h_{k,j}|^2} \right) \leq 1, \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0092] \quad \sum_{j \in J_k} R_{k,j} \geq e^{\frac{MOS_{k,\min} - C_k}{K_1}}, \quad \forall k \in K$$

[0093] 针对问题 (P3), 将 P^{feasible} 和 R^{feasible} 定义为问题 (P3) 的可行解集合, 并得到问题 (P4):

[0094] 可行解集合为 $R^{\text{feasible}} = \{R_{k,j}^{\text{feasible}} | \forall k \in K, \forall j \in J\}$, $P^{\text{feasible}} = \{p_{k,j}^{\text{feasible}} | \forall k \in K, \forall j \in J\}$, 可得:

$$[0095] \quad a_{k,j}^{\text{feasible}} = \ln\left(2^{\frac{1}{B}R_{k,j}^{\text{feasible}}} - 1\right), \quad b_{k,j}^{\text{feasible}} = \ln(p_{k,j}^{\text{feasible}})$$

[0096] 问题 (P4) 表示为:

$$[0097] \quad (P4) \quad \max_{p_{k,j}, R_{k,j}, a_{k,j}, b_{k,j}} \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} \lambda_1 K_1 \frac{1}{N_k} \ln(N_k R_{k,j}) + \lambda_1 \sum_{k=1}^K C_k - \lambda_2 \varepsilon \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j}$$

$$[0098] \quad s.t. \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j \in J_k} p_{k,j}(b) \leq P_{\max}$$

$$[0099] \quad R_{k,j} \leq B \log_2\left(1 + e^{a_{k,j}^{\text{feasible}}}\right) + B \frac{e^{a_{k,j}^{\text{feasible}}}(a_{k,j} - a_{k,j}^{\text{feasible}})}{\ln 2(1 + e^{a_{k,j}^{\text{feasible}}})}, \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0100] \quad e^{a_{k,j} - b_{k,j}} \left(\sum_{i \in \{K_j | |h_{i,j}|^2 > |h_{k,j}|^2\}} e^{b_{i,j}} + \frac{\sigma^2}{|h_{k,j}|^2} \right) \leq 1, \quad \forall k \in K, \forall j \in J_k$$

$$[0101] \quad \sum_{j \in J_k} R_{k,j} \geq e^{\frac{MOS_{k,\min} - C_k}{K_1}}, \quad \forall k \in K$$

[0102] 判断问题 (P4) 为凸优化问题, 是问题 (P3) 的下界近似。针对问题 (P3), 在给定初始可行解的情况下, 求取更优的目标函数, 从问题 (P4) 所获得的目标函数值不会比代入可行解得到的目标函数值小, 此种 SCA 方法能够连续逼近目标函数的最优解, 有效求解用户功率分配问题。

[0103] 依据表 1 中所示的仿真参数设置仿真环境, 可以得到如图 2 和图 3 所示的仿真结果:

[0104] 表 1 系统仿真参数设置

[0105]

小区半径	300m
用户数	6
子载波数	4
非零元数目	2
子载波带宽	15kHz
基站发射功率	10W
噪声功率谱密度	-174dBm/Hz
路径损耗因子	3

[0106] λ_1 和 λ_2 分别表示用户总 MOS 和系统功耗的权重系数, 在仿真时, 考虑用系数 η 表示 λ_1

和 λ_2 为 $\lambda_1 = \frac{\eta}{\eta+1}$, $\lambda_2 = \frac{1}{\eta+1}$, 则 $\eta = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 。

[0107] 在仿真时,可利用MATLAB的OPTI工具箱中优化的NOMAD求解器求解子载波分配。NOMAD是在一般非线性约束下实现用于黑箱优化的MADS算法的软件,使用MADS算法来求解不可微和全局非线性规划,还包含一种解决非凸MINLP的工具,并且对于多达数百个变量的问题都能够较好地求解,对于无法求导数的优化是很适用的求解器。在求解模型时可运用NOMAD求解器求得子载波与用户对应关系,即因子矩阵,以此作为功率分配的基础进行功率分配。

[0108] 图2和图3反映了系统用户总MOS值和系统总功耗随系数 η 变化的情况,表明了通过引入权值实现这两个优化目标之间的折衷。保持基站发射总功率为10W,从两图中可以发现,相比OMA方案,SCMA可有效提升总MOS并保持系统功耗在较低水平。而与Scheme1方案相比,所提资源分配方案的性能更好,表明不合适的资源分配方案不能完全体现SCMA系统的优势。当系数 $\eta > 1$ 时,表明 $\lambda_1 > \lambda_2$,整个系统对于提升总MOS关注较多,对降低系统功耗关注较少,随着 η 的增大,总MOS值增大,而系统功耗也会不断增大。而当 $0 < \eta < 1$ 时,系统对降低系统功耗关注较多,对提升总MOS关注较少,当 $\eta = 1$ 时,对两个目标的关注度相同。此外,从两图中可以看出,当 $\eta > 14$ 时,随 η 增大,总MOS值几乎不变,而系统功耗仍在增大,因此,从实际系统性能的角度来看, $\eta > 14$ 是不可取的, $\eta \leq 14$ 的区域是实际多目标优化系统的首选区域。

[0109] 广义的量化QoE的指标MOS,其值是在实数1到5之间,在网页浏览业务中,由于对用户从发出请求到收到完整的网页所经过的往返时间 $RTT \approx 0$ 的假设和时延计算的简化,所得到的用户的实际MOS值可能超过实数5,因此,在仿真中,所反映出的MOS值越大,表明用户QoE越好,用户满意度越高。

[0110] 由以上实施例可以看出,本发明将SCMA系统中上层用户QoE需求转化为MOS目标和约束,以最大化系统用户总MOS和最小化系统功耗为目标,构建SCMA子载波和功率分配模型;采用MADS与SCA算法得到优化的子载波分配和功率分配方案,在满足每个用户QoE需求的情况下,能够有效提升用户QoE,并在用户QoE和系统功耗之间得到折衷。

[0111] 此外,需要说明的是,本领域内的技术人员应明白,本发明实施例的实施例可提供为方法、装置、或计算机程序产品。因此,本发明实施例可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明实施例可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0112] 本发明实施例是参照根据本发明实施例的方法、终端设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理终端设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理终端设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0113] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理终端设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方

框或多个方框中指定的功能。这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理终端设备上,使得在计算机或其他可编程终端设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程终端设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0114] 尽管已描述了本发明的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例做出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明实施例范围的所有变更和修改。

[0115] 还需要说明的是,在本文中,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者终端设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者终端设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者终端设备中还存在另外的相同要素。

[0116] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

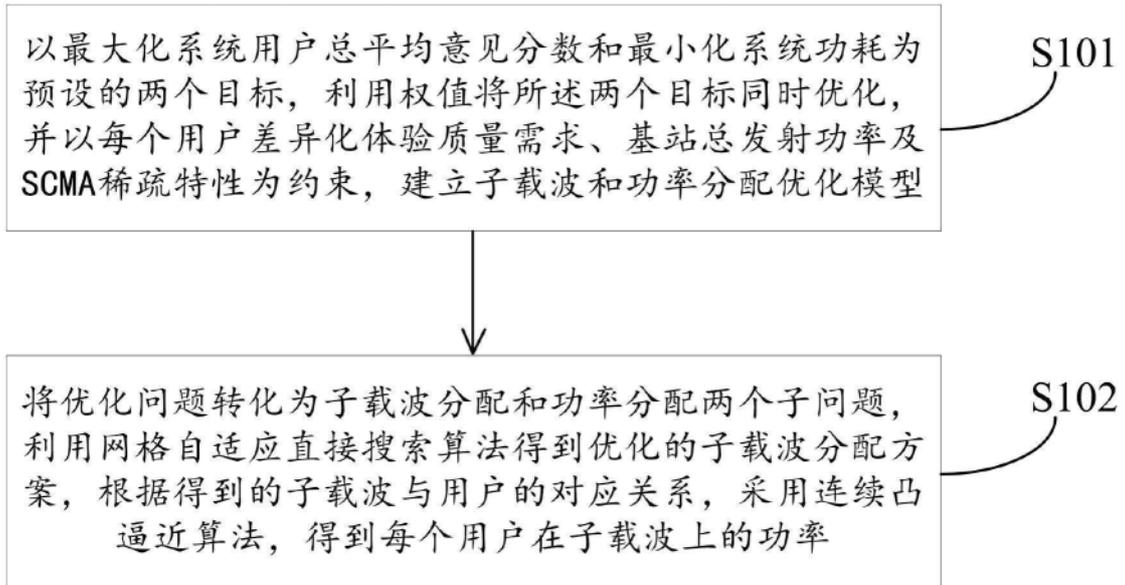


图1

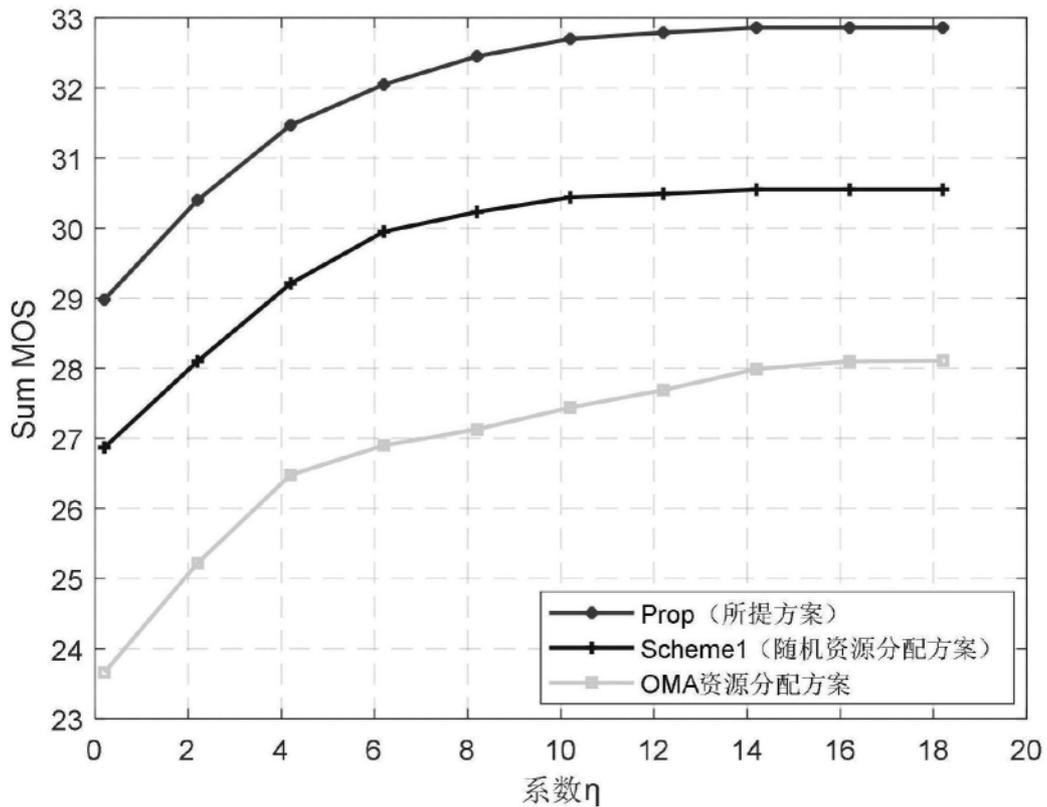


图2

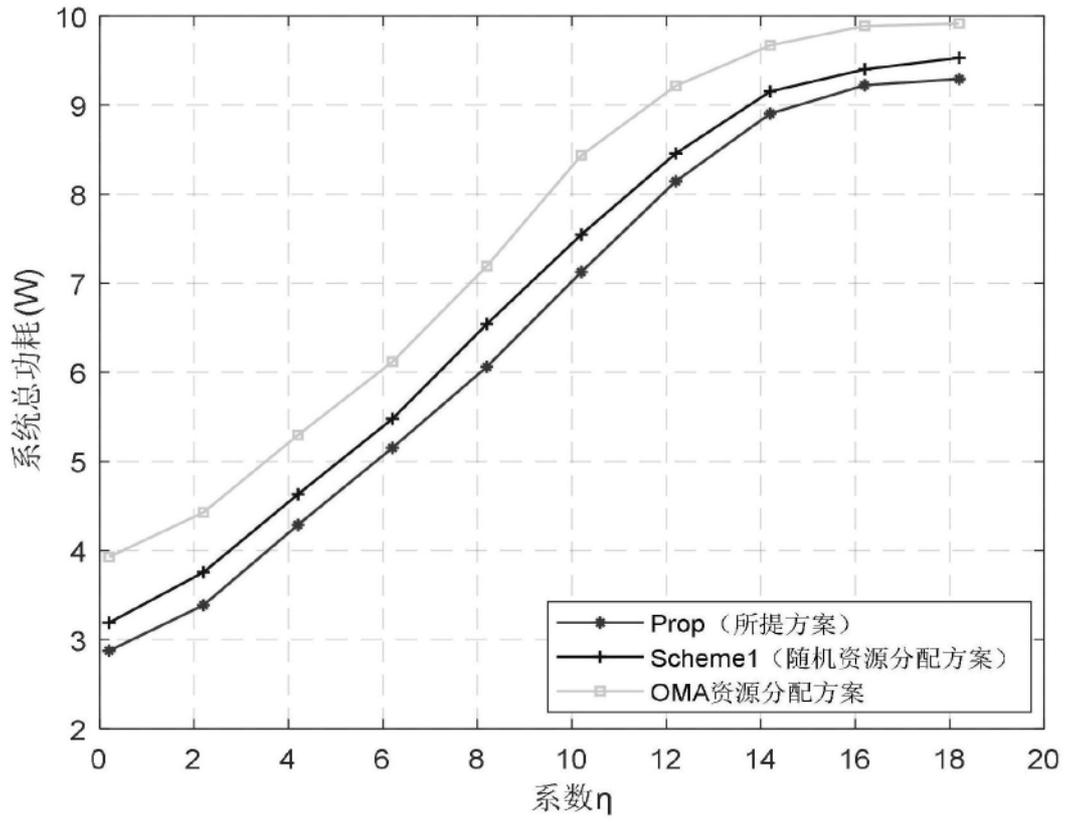


图3