



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108934027 B

(45) 授权公告日 2021. 04. 06

(21) 申请号 201810722877.X

H04B 7/0413 (2017.01)

(22) 申请日 2018.07.04

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106034305 A, 2016.10.19

申请公布号 CN 108934027 A

CN 104507111 A, 2015.04.08

(43) 申请公布日 2018.12.04

CN 102647250 A, 2012.08.22

(73) 专利权人 南京邮电大学

CN 106034301 A, 2016.10.19

地址 210003 江苏省南京市栖霞区文苑路9

US 2018070286 A1, 2018.03.08

号南京邮电大学仙林校区

审查员 李骁

(72) 发明人 傅友华 冉君尧 王海荣

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

(普通合伙) 32204

代理人 李淑静

(51) Int. Cl.

H04W 24/02 (2009.01)

H04W 40/02 (2009.01)

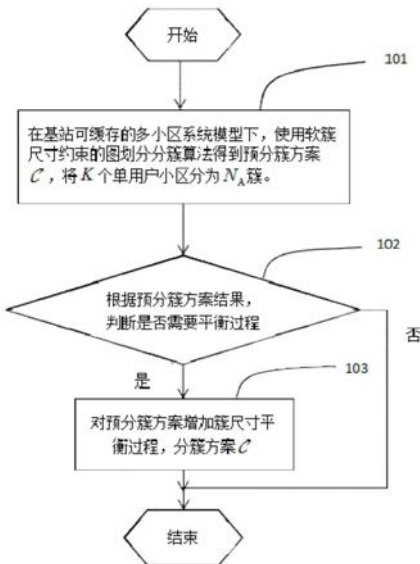
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法

(57) 摘要

本发明公开了一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,属于无线通信技术领域。该方法根据更加实际的可缓存基站系统建模,考虑单用户小区下行模型,利用软簇尺寸约束的图划分分簇方法将小区预分簇,然后根据设定的判决条件进行簇尺寸平衡过程,并通过有效速率来衡量分簇优劣;使最终的分簇方案更加符合干扰对齐可行性条件。与现有技术相比,利用本发明提出的分簇方法能在基站可缓存这种可以适应更高速率传输的系统模型下得到簇尺寸更平衡且系统性能更优的分簇方案。



1. 一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

步骤1、根据MIMO多小区基站可缓存系统参数,利用软簇尺寸约束的图划分分簇方法,得到预分簇方案 $\mathcal{C} = \{\mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2, \dots, \mathcal{S}_{N_A}\}$,其中 $\mathcal{S}_i$ 代表第i个簇, N_A 为得到的簇个数;将K个单用户小区分为 N_A 簇,其中簇个数 N_A 的确定方式如下:

$$N_A = \left\lceil \frac{K}{L_{\max}} \right\rceil$$

其中K为小区数目, $L_{\max}$ 为当前系统参数下IA系统的最大尺寸, $\lceil \cdot \rceil$ 代表取上界;

步骤2、根据预分簇方案结果,得到簇尺寸超出最大簇尺寸 $\mathcal{S}_{\max}$ 的簇的集合为 $\mathcal{S}^+ = \{\mathcal{S}_a, |\mathcal{S}_a| > |\mathcal{S}_{\max}|\}$,小于最大簇尺寸的簇的集合为 $\mathcal{S}^- = \{\mathcal{S}_b, |\mathcal{S}_b| < |\mathcal{S}_{\max}|\}$,设置簇尺寸平衡过程的判决条件 $|\mathcal{S}^+| > 0$;

步骤3、根据上述判决条件对预分簇方案结果进行簇尺寸平衡过程,生成最终分簇方案,具体包括以下步骤:

步骤31)、由软簇尺寸分簇算法得到预分簇方案 $\mathcal{C}$,簇集合 $\mathcal{S}^+, \mathcal{S}^-$,行归一化的隶属度矩阵 X^* 和有效速率 c ;

步骤32)、取出簇 $\mathcal{S}_a \in \mathcal{S}^+$ 对应矩阵 X^* 中第a列的前 $|\mathcal{S}_a| - |\mathcal{S}_{\max}|$ 个最小隶属度行的序号,记其集合为 $\mathcal{A}$,簇 $\mathcal{S}_b$ 的序号b取出记为集合 $\mathcal{B}$,将矩阵 X^* 中的 $\mathcal{A}$ 行, $\mathcal{B}$ 列所有交点数值取出组成新的矩阵记为 X° ;

步骤33)、判断 $\mathcal{A}, \mathcal{B}$ 两个集合的元素个数,如果 $|\mathcal{A}| > |\mathcal{B}|$,对矩阵 X° 的行进行 $|\mathcal{B}|$ 类K-means聚类,得到新的分簇方案 $\mathcal{C}^*$,并计算此时的有效速率 c^* ,如果 $c^* < c$,输出分簇方案 $\mathcal{C}$;如果 $c^* > c$,进行步骤35;

步骤34)、如果 $|\mathcal{A}| \leq |\mathcal{B}|$,取矩阵 X° 中的第j行的最大值对应的列序号i,得到新的分簇方案 $\mathcal{C}^*$ 和此时的有效速率 c^* ;如果 $c^* < c$,输出分簇方案 $\mathcal{C}$;如果 $c^* > c$,进行步骤35;

步骤35)、更新分簇方案 $\mathcal{C} = \mathcal{C}^*$ 和簇集合 $\mathcal{S}^+, \mathcal{S}^-$,令 $c = c^*$,返回步骤32。

2. 根据权利要求1所述的MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,其特征在于,所述步骤1中,针对可缓存基站系统的软簇尺寸约束的图划分分簇中,使用以下归一化的有效损失速率:

$$\Delta_{ji} = \frac{\log_2(1 + \rho_{ji}P_j) - \min \left[\log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i} \right), P_{\text{hit}} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i} \right) + P_{\text{miss}}C_d \right]}{\log_2(1 + \rho_{ji}P_j)}$$

其中, Δ_{ji} 代表小区i到小区j的有效损失速率, ρ_{ji} 代表小区i中基站到小区j中用户的大尺度衰落, ρ_{jj} 代表小区j中基站到小区j中用户的大尺度衰落, P_j 为小区j基站的发射功率, P_i 为小区i基站的发射功率, P_{hit} 为用户请求数据在缓存中的概率, P_{miss} 为用户请求数据不在缓存中的概率, C_d 为回程链路中用于数据传输的容量。

3. 根据权利要求1所述的MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,其特征在於,所述方法还包括:定义有效速率 c 作为判断分簇方案优劣的评价指标,其形式如下:

$$c = \sum_{j=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{jj} P_j}{1 + f[\mathcal{S}(j)] + \sum_{k \notin \mathcal{S}(j)} \rho_{jk} P_k} \right)$$

$$f[\mathcal{S}(j)] = \begin{cases} \sum_{i \in \mathcal{S}(j)} \rho_{ji} P_i, & |\mathcal{S}(j)| > |\mathcal{S}_{\max}| \\ 0, & |\mathcal{S}(j)| \leq |\mathcal{S}_{\max}| \end{cases}$$

其中 $\mathcal{S}(j)$ 代表包含小区 j 的簇, $k \notin \mathcal{S}(j)$ 表示小区 k 不在簇 $\mathcal{S}(j)$ 中, ρ_{jk} 代表小区 k 基站到小区 j 用户的大尺度衰落, ρ_{jj} 代表小区 j 中基站到小区 j 中用户的大尺度衰落, ρ_{ji} 代表小区 i 中基站到小区 j 中用户的大尺度衰落, P_j 为小区 j 基站的发射功率, P_i 为小区 i 基站的发射功率, P_k 代表小区 k 基站的发送功率, $|\mathcal{S}(j)| > |\mathcal{S}_{\max}|$ 表示簇 $\mathcal{S}(j)$ 的尺寸大于分簇方案中最大簇尺寸的簇 $\mathcal{S}_{\max}$ 的尺寸。

4. 根据权利要求3所述的MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,其特征在於,所述步骤3中对预分簇方案实施平衡过程时,比较每次平衡过程前后的有效速率,如果平衡后的有效速率大于平衡前的有效速率,则输出本次平衡后的分簇方案;如果平衡后的有效速率小于或等于平衡前的,则舍弃本次平衡后的分簇方案,而输出平衡前的分簇方案。

一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法

技术领域

[0001] 本发明属于无线通信技术领域,具体涉及一种多小区可缓存系统中用于去除干扰的分簇方法。

背景技术

[0002] 随着5G技术的到来,数据传输越来越高,制约多小区多输入多输出(MIMO)系统吞吐量的因素主要有回程链路容量和无线链路干扰两个因素。对于回程链路容量受限,基站端可以通过设计适当的缓存(cache)模型预先缓存内容,可以使系统以一定的概率达到无线链路可达速率,有效提高系统性能;对于无线链路的限制,主要是由于多用户之间的干扰造成的,干扰对齐(Interference Alignment,IA)技术作为一种干扰管理方案被广泛应用于消除干扰。但是实施IA应用需要信道状态信息(Channel State Information,CSI)共享,并且需要满足可行性条件的限制。当IA系统内小区数目超出可行性的限制,不仅干扰不能对齐消除,而且CSI开销也很大。因此分簇干扰对齐被提出,对簇内进行干扰对齐,忽略簇间干扰,使系统整体性能提高。

[0003] 现有分簇干扰对齐技术中,S J CHEN,and R S CHENG.“Clustering for Interference Alignment in Multiuser Interference Network,”IEEE Transactions on Vehicular Technology,2014,vol.63,no.6,pp.2613-2624.提出的软簇尺寸约束的图划分分簇方法,具有低复杂度,并且可以得到良好的分簇结果。其主要步骤是将小区定义为图中的点,首先由IA可行性条件确定分簇数目 N_A :

$$[0004] \quad N_A = \left\lfloor \frac{K}{L_{\max}} \right\rfloor$$

[0005] 其中K为小区数目, $L_{\max}$ 为当前基站和用户天线数目等系统参数下IA系统的最大尺寸, $\lfloor \cdot \rfloor$ 代表取上界。定义每两个小区之间的有效损失速率:

$$[0006] \quad \Delta_{ji} = \log_2(1 + \rho_{ji}P_j) - \log_2\left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i}\right)$$

[0007] 其中 ρ 代表基站到小区间的大尺度衰落, $\rho_{ji} = r_{ji}^{-\alpha}$, r_{ji} 为第i个小区的基站到第j个小区的用户的距离, α 为大尺度衰落因子, P_j 为第j个小区的基站发射功率。然后通过

$$w_{ij} = \begin{cases} \Delta_{ji} + \Delta_{ij}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad \text{确定图中边的权值,由权值矩阵求解特征向量得到每个小区属于所有}$$

簇的隶属度矩阵X,最后利用K-means聚类方法分为 N_A 簇。簇内小区联合设计IA发送预编码矩阵和接收矩阵,达到簇内干扰对齐,从而使得系统平均吞吐量提高。

[0008] 但是,软簇尺寸约束的图划分分簇方法主要有以下缺点:

[0009] 1、该方案没有考虑基站端缓存,而随着数据传输速率需求的增加,基站可缓存是发展趋势,在回程链路容量有限的条件下,如何对可缓存基站系统分簇干扰对齐并没有明

确的方案；

[0010] 2、该方案通过定义分簇数目进行分簇,但是分簇后每个簇尺寸(也就是簇中包含的小区个数)是否严格符合IA可行性条件不确定,可能出现分簇结果并不严格符合干扰对齐可行性条件。

发明内容

[0011] 发明目的:针对现有技术的不足,本发明提出一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,根据更加实际的可缓存基站系统建模,利用软簇尺寸约束的图划分分簇方法将小区预分簇,并通过簇尺寸平衡过程,使最终得到的分簇方案更加符合干扰对齐可行性条件。

[0012] 技术方案:为了实现以上目的,本发明提出的一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法,包括以下步骤:

[0013] 步骤1、根据MIMO多小区基站可缓存系统参数,利用软簇尺寸约束的图划分分簇方法,得到预分簇方案 $\mathcal{C} = \{\mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2, \dots, \mathcal{S}_{N_A}\}$,其中 $\mathcal{S}_i$ 代表第i个簇, N_A 为得到的簇个数;将K个单用户小区分为 N_A 簇;

[0014] 步骤2、根据预分簇方案结果,得到簇尺寸超出最大簇尺寸 $\mathcal{S}_{\max}$ 的簇的集合为 $\mathcal{S}^+ = \{\mathcal{S}_a, |\mathcal{S}_a| > |\mathcal{S}_{\max}|\}$,小于最大簇尺寸的簇的集合为 $\mathcal{S}^- = \{\mathcal{S}_b, |\mathcal{S}_b| < |\mathcal{S}_{\max}|\}$,设置簇尺寸平衡过程的判决条件 $|\mathcal{S}^+| > 0$;

[0015] 步骤3、根据上述判决条件对预分簇方案结果进行簇尺寸平衡过程,生成最终分簇方案。

[0016] 作为优选,步骤1中,针对可缓存基站系统的软簇尺寸约束的图划分分簇中,使用以下归一化的有效损失速率:

$$[0017] \quad \Delta_{ji} = \frac{\log_2(1 + \rho_{ji}P_j) - \min \left[\log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i} \right), P_{\text{hit}} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i} \right) + P_{\text{miss}}C_d \right]}{\log_2(1 + \rho_{ji}P_j)}$$

[0018] 其中, Δ_{ji} 代表小区i到小区j的有效损失速率, ρ_{ji} 代表小区i中基站到小区j中用户的大尺度衰落, ρ_{jj} 代表小区j中基站到小区j中用户的大尺度衰落, P_j 为小区j中基站的发射功率, P_i 为小区i中基站的发射功率, P_{hit} 为用户请求数据在缓存中的概率, P_{miss} 为用户请求数据不在缓存中的概率, C_d 为回程链路中用于数据传输的容量。

[0019] 进一步地,该方法还包括:定义有效速率c作为判断分簇方案优劣的评价指标,其形式如下:

$$[0020] \quad c = \sum_{j=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + f[\mathcal{S}(j)] + \sum_{k \notin \mathcal{S}(j)} \rho_{jk}P_k} \right)$$

$$[0021] \quad f[\mathcal{S}(j)] = \begin{cases} \sum_{i \in \mathcal{S}(j)} \rho_{ji} P_i, & |\mathcal{S}(j)| > |\mathcal{S}_{\max}| \\ 0, & |\mathcal{S}(j)| \leq |\mathcal{S}_{\max}| \end{cases}$$

[0022] 其中 $\mathcal{S}(j)$ 代表包含小区 j 的簇, $k \notin \mathcal{S}(j)$ 表示小区 k 不在簇 $\mathcal{S}(j)$ 中, ρ_{jk} 代表小区 k 中基站到小区 j 中用户的大尺度衰落, P_k 代表小区 k 基站的发送功率, $|\mathcal{S}(j)| > |\mathcal{S}_{\max}|$ 表示簇 $\mathcal{S}(j)$ 的尺寸大于分簇方案中最大簇尺寸的簇 $\mathcal{S}_{\max}$ 的尺寸。

[0023] 进一步地, 步骤3中对预分簇方案实施平衡过程, 按照如下步骤进行:

[0024] 步骤31)、由软簇尺寸分簇算法得到预分簇方案 $\mathcal{C}$, 簇集合 $\mathcal{S}^+, \mathcal{S}^-$, 行归一化的隶属度矩阵 X^* 和有效速率 c ;

[0025] 步骤32)、取出簇 $\mathcal{S}_a \in \mathcal{S}^+$ 对应矩阵 X^* 中第 a 列的前 $|\mathcal{S}_a| - |\mathcal{S}_{\max}|$ 个最小隶属度行的序号, 记其集合为 $\mathcal{A}$, 簇 $\mathcal{S}_b$ 的序号 b 取出记为集合 $\mathcal{B}$, 将矩阵 X^* 中的 $\mathcal{A}$ 行, $\mathcal{B}$ 列所有交点数值取出组成新的矩阵记为 X° ;

[0026] 步骤33)、判断 $\mathcal{A}$ $\mathcal{B}$ 两个集合的元素个数, 如果 $|\mathcal{A}| > |\mathcal{B}|$, 对矩阵 X° 的行进行 $|\mathcal{B}|$ 类 K-means 聚类, 得到新的分簇方案 $\mathcal{C}^*$, 并计算此时的有效速率 c^* , 如果 $c^* < c$, 输出分簇方案 $\mathcal{C}$; 如果 $c^* > c$, 进行步骤35;

[0027] 步骤34)、如果 $|\mathcal{A}| \leq |\mathcal{B}|$, 取矩阵 X° 中的第 j 行的最大值对应的列序号 i , 得到新的分簇方案 $\mathcal{C}^*$ 和此时的有效速率 c^* ; 如果 $c^* < c$, 输出分簇方案 $\mathcal{C}$; 如果 $c^* > c$, 进行步骤35;

[0028] 步骤35)、更新分簇方案 $\mathcal{C} = \mathcal{C}^*$ 和簇集合 $\mathcal{S}^+, \mathcal{S}^-$, 令 $c = c^*$, 返回步骤32。

[0029] 有益效果: 本发明提出了在可缓存基站场景下, 利用重新定义的有效损失速率设计预分簇方案, 然后增加簇尺寸平衡过程, 通过有效速率作为衡量分簇方案优劣的指标, 使得分簇方案在能够提高系统性能的前提下更易符合干扰对齐可行性条件。与现有技术相比, 本发明能在基站可缓存这种可以适应更高速率传输的系统模型下得到簇尺寸更平衡且系统性能更优的分簇方案。

附图说明

[0030] 图1为根据本发明实施例的MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法的流程图;

[0031] 图2为根据本发明实施例的簇尺寸平衡过程流程图;

[0032] 图3为根据本发明实施例的小区随机分布 $(2 \times 2, 1)^6$ 系统下两种方案的簇效果;

[0033] 图4为根据本发明实施例的小区随机分布 $(2 \times 2, 1)^{12}$ 系统下两种方案的簇效果;

[0034] 图5为图3和图4所示两种系统下两种方案的有效速率 c 对比图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明的技术方案作进一步说明。

[0036] 本发明提出的一种MIMO多小区基站可缓存系统的分簇方法, 根据更加实际的可缓存基站系统建模, 考虑单用户小区下行模型, 先利用软簇尺寸约束的分簇干扰对齐方法将

小区预分簇,然后进行簇尺寸平衡过程,同时构建有效速率这一指标衡量分簇优劣,使最终输出的分簇方案更加符合干扰对齐可行性条件。如图1所示,在一个实施例中,所述方法包括以下步骤:

[0037] 步骤101:在K个MIMO多小区可缓存基站这一模型下,根据MIMO多小区基站可缓存系统参数,使用软簇尺寸约束的图划分方法对系统进行分簇,将K个单用户小区分为 N_A 簇。

[0038] 此分簇过程中,作为边权矩阵的决定因素的归一化有效损失速率定义为:

$$[0039] \quad \Delta_{ji} = \frac{\log_2(1 + \rho_{ji}P_j) - \min \left[\log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i} \right), P_{hit} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{ji}P_j}{1 + \rho_{ji}P_i} \right) + P_{miss}C_d \right]}{\log_2(1 + \rho_{ji}P_j)}$$

[0040] 上式中分母为归一化因子,分子第一项表示当不存在其他干扰小区时,小区j的无线链路可达速率,第二项表示存在其他小区i时小区j的可达速率,两项相减代表其他小区干扰对可达速率带来的损失。同时第二项中 $\min[]$ 运算表明当低信噪比时,无线链路速率不能达到回程链路限制容量,此时系统速率只由较小的无线链路速率决定;而当高信噪比时,无线链路速率高于回程链路容量限制,此时系统速率由无线链路速率和回程链路容量通过缓存以概率加权形式共同限制。

[0041] 其中 Δ_{ji} 代表小区i到小区j的有效损失速率, ρ_{ji} 代表小区i中基站到小区j中用户的大尺度衰落, ρ_{jj} 代表小区j中基站到小区j中用户的大尺度衰落, P_j 为小区j中基站的发射功率, P_i 为小区i中基站的发射功率。系统假设的是单用户小区下行,发射端为基站,接收端为用户,因此角标ji(默认后面为发射端,前面为接收端)代表小区i的基站和小区j的用户。 C_d 为回程链路中用于数据传输的容量,回程链路总容量 C_b 有限,除了一部分用于数据传输,剩余用于CSI共享记为 C_c 。 P_{hit} 为用户请求数据在缓存中的概率, P_{miss} 为用户请求数据不在缓存中的概率,这两个概率可以通过内容流行度为指数分布的缓存模型来得到,属于现有技术,此处不再赘述。

[0042] 由有效损失速率得到权值矩阵后通过求解特征向量得到每个小区属于所有簇的隶属度矩阵X,利用K-means聚类方法分为 N_A 簇,得到预分簇方案 $\mathcal{C} = \{\mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2, \dots, \mathcal{S}_{N_A}\}$ 。

[0043] 步骤102:利用预分簇方案结果,得到簇尺寸超出最大簇尺寸的簇的集合为: $\mathcal{S}^+ = \{\mathcal{S}_a, |\mathcal{S}_a| > |\mathcal{S}_{max}|\}$,小于最大簇尺寸的簇的集合为: $\mathcal{S}^- = \{\mathcal{S}_b, |\mathcal{S}_b| < |\mathcal{S}_{max}|\}$ 。得到需要增加簇尺寸平衡过程的判决条件: $|\mathcal{S}^+| > 0$,即存在超出簇最大尺寸的簇。

[0044] 步骤103:根据步骤102中得到的判决条件,对预分簇方案增加簇尺寸平衡过程,确保簇尺寸平衡过程后的有效速率 c^* 大于平衡过程前的有效速率 c ,得到最终分簇方案 $\mathcal{C}$ 。其中,分簇方案下的有效速率计算公式如下:

$$[0045] \quad c = \sum_{j=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{jj}P_j}{1 + f[\mathcal{S}(j)] + \sum_{k \notin \mathcal{S}(j)} \rho_{jk}P_k} \right)$$

$$[0046] \quad f[\mathcal{S}(j)] = \begin{cases} \sum_{i \in \mathcal{S}(j)} \rho_{ji} P_i, & |\mathcal{S}(j)| > |\mathcal{S}_{\max}| \\ 0, & |\mathcal{S}(j)| \leq |\mathcal{S}_{\max}| \end{cases}$$

[0047] 其中 $\mathcal{S}(j)$ 代表包含小区 j 的簇, $k \notin \mathcal{S}(j)$ 表示小区 k 不在簇 $\mathcal{S}(j)$ 中, ρ_{jk} 代表小区 k 基站到小区 j 用户的大尺度衰落, P_k 代表小区 k 基站的发送功率, $|\mathcal{S}(j)| > |\mathcal{S}_{\max}|$ 表示簇 $\mathcal{S}(j)$ 的尺寸大于分簇方案中最大簇尺寸的簇 $\mathcal{S}_{\max}$ 的尺寸。有效速率 c 的形式为只考虑大尺度衰落干扰对齐的系统可达速率, 其中分子表示期望信号的功率, 分母第一项代表归一化噪声功率; 第二项代表簇 $\mathcal{S}(j)$ 受到的簇内干扰, 当其尺寸超出最大簇尺寸限制时, 簇内干扰为簇内其他小区对小区 j 的干扰和, 当满足最大簇尺寸限制时, 不存在簇内干扰; 第三项为簇间干扰, 表现为其他簇的小区干扰功率和。

[0048] 比较一次平衡过程前后的有效速率是判断对此次平衡速率的取舍, 如果平衡后的有效速率小于平衡前的, 那么要舍弃本次平衡后的分簇方案, 而输出平衡前的分簇方案。一直迭代直到更新后的方案不能使有效速率增加。参照图2, 上述步骤103的具体实施步骤如下:

[0049] 步骤301: 根据预分簇方案 $\mathcal{C}$, 得到簇集合 $\mathcal{S}^+, \mathcal{S}^-$, 隶属度矩阵 X 的行归一化矩阵 X^* 和当前方案的有效速率 c ;

[0050] 步骤302: 取出簇 $\mathcal{S}_a \in \mathcal{S}^+$ 对应矩阵 X^* 中第 a 列其中前 $|\mathcal{S}_a| - |\mathcal{S}_{\max}|$ 个最小隶属度行的序号, 记其集合为 $\mathcal{A}$, 将所有簇 $\mathcal{S}_b$ 的序号 b 取出记为集合 $\mathcal{B}$ 。将矩阵 X^* 中的 $\mathcal{A}$ 行, $\mathcal{B}$ 列所有交点数值取出组成新的矩阵记为 X° ;

[0051] 步骤303: 判断 $\mathcal{A}$ $\mathcal{B}$ 两个集合大小;

[0052] 步骤304: 如果 $|\mathcal{A}| > |\mathcal{B}|$, 对矩阵 X° 的行进行 K-means 聚类分簇, 分为 $|\mathcal{B}|$ 类, 按照此次聚类结果, 将 $\mathcal{A}$ 中序号的小区移动到 $\mathcal{B}$ 中序号的目标簇。记新的分簇方案 $\mathcal{C}^*$ 和此时的有效速率 c^* ;

[0053] 步骤305: 如果 $|\mathcal{A}| \leq |\mathcal{B}|$, 取矩阵 X° 中的第 j 行的最大值对应的列序号 $i = \text{index}[\arg\max X^\circ(j, :)]$, $i = 1, 2, \dots, |\mathcal{B}|$, $j = 1, 2, \dots, |\mathcal{A}|$, 并将小区 j 移动到目标簇 $\mathcal{S}_i$ 。记新的分簇方案 $\mathcal{C}^*$, 和此时的有效速率 c^* ;

[0054] 步骤306: 比较平衡前有效速率 c 和平衡后有效速率 c^* ;

[0055] 步骤307: 如果 $c^* > c$, 接受此次平衡过程并更新分簇方案 $\mathcal{C} = \mathcal{C}^*$, 簇集合 $\mathcal{S}^+, \mathcal{S}^-$ 和有效速率 $c = c^*$, 并重新执行步骤302;

[0056] 步骤308: 输出分簇方案 $\mathcal{C}$ 。

[0057] 实验结果: 图3为30Km*30Km (图中1单位为1Km) $(2 \times 2, 1)^6$ 系统, 收发天线数为2, 发送数据流为1, 共6个单用户小区分簇结果, 决定大尺度衰落的系数 $\alpha = 3.76$, 回程链路总容量 $C_b = 300\text{Mbps}$, 其中用于数据传输的容量为 $C_d = 260\text{Mbps}$, 并且缓存决定的内容击中概率 $P_{\text{hit}} = P_{\text{miss}} = 0.5$ 。图4为同样参数下12单用户小区系统。图中图例相同的代表同一簇, 最近

的两个相同图例代表基站和小区内用户。通过计算得到两种系统的最大簇尺寸限制都为 $|\mathcal{S}_{\max}|=3$ ，因此可以看出簇尺寸平衡的分簇方案效果更佳均衡且符合最大簇尺寸(实施干扰对齐)限制。

[0058] 图5为上述两种系统分别实施软簇尺寸约束方案和簇尺寸平衡方案得到的有效速率，可以看出簇尺寸平衡方案在高信噪比条件下明显优于软簇尺寸约束方案，并且对于一定面积内小区数目越多，越不好分簇均衡的场景(例如12小区情况下，软簇尺寸约束分簇方案使得某些簇不满足最大簇尺寸约束，存在簇内干扰，系统性能非常差)，簇尺寸平衡方案效果更加优秀。

[0059] 以上所述仅为本发明的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围内。

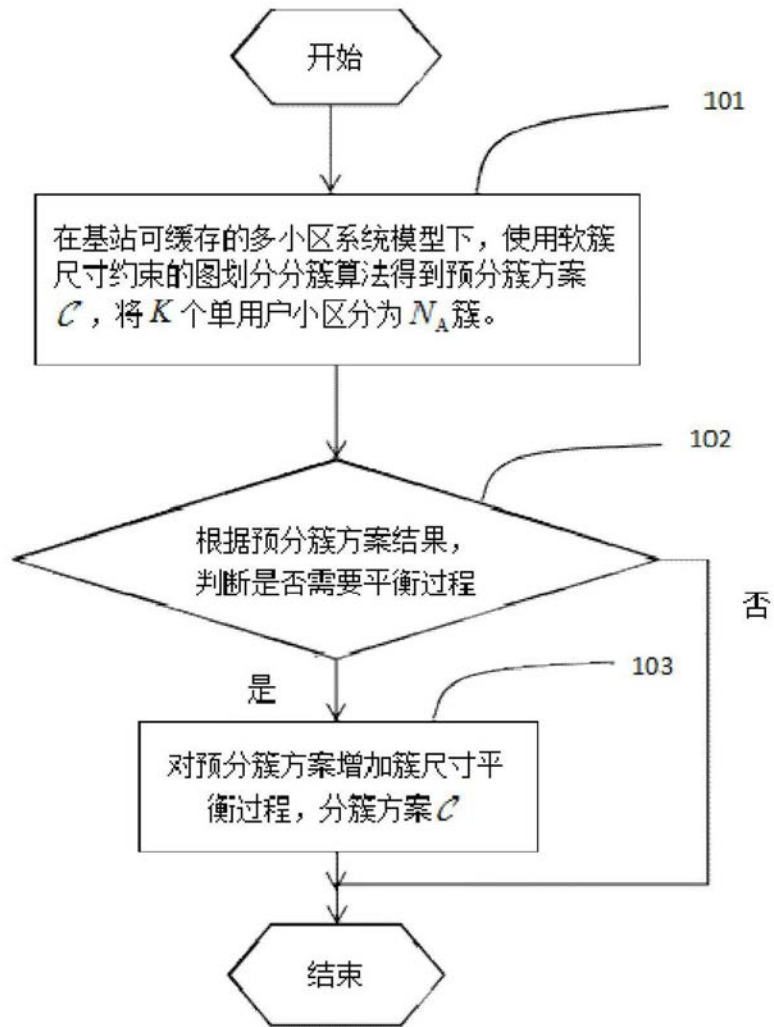


图1

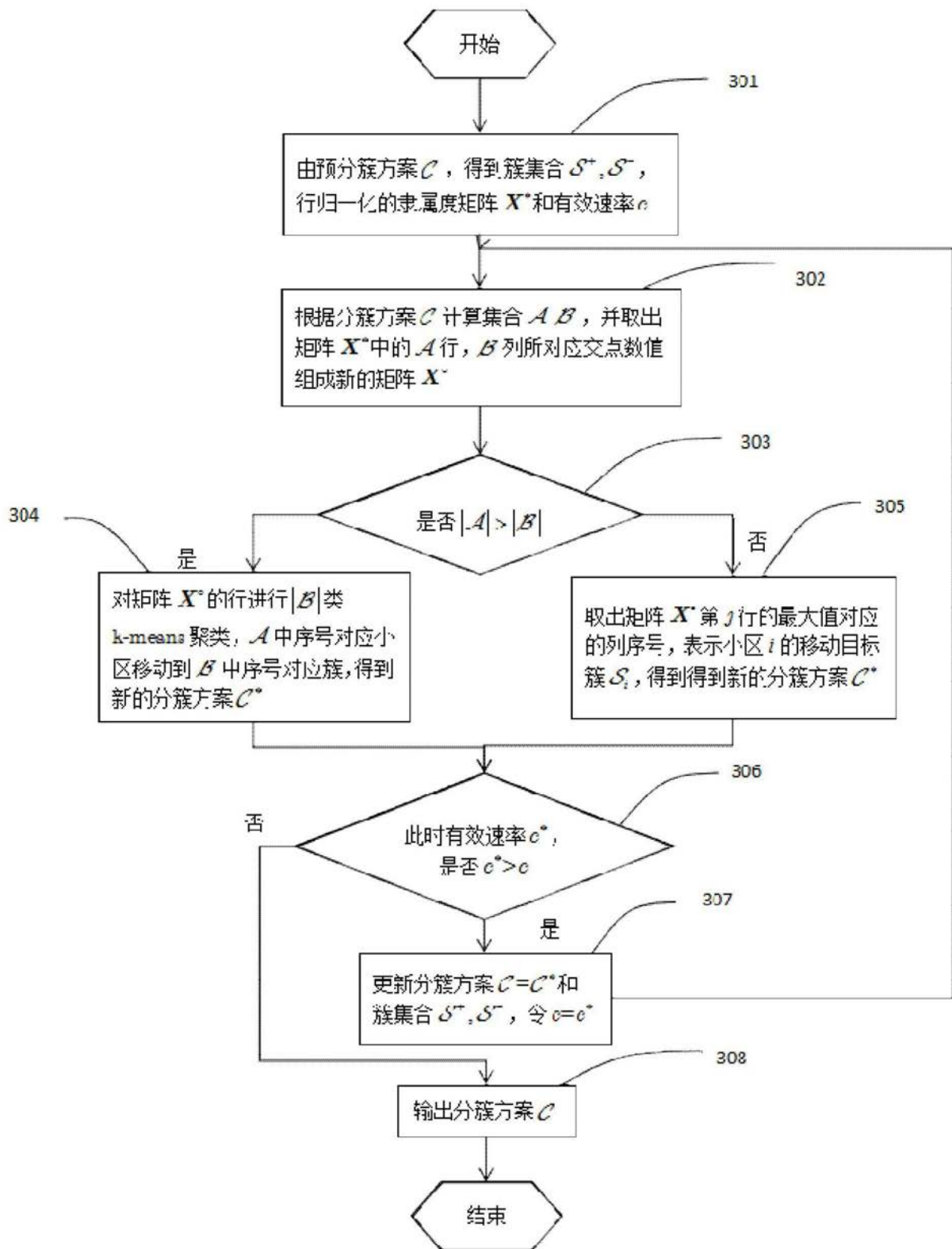


图2

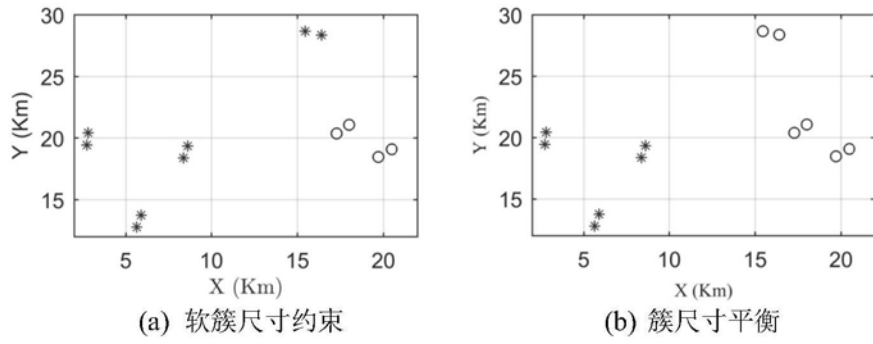


图3

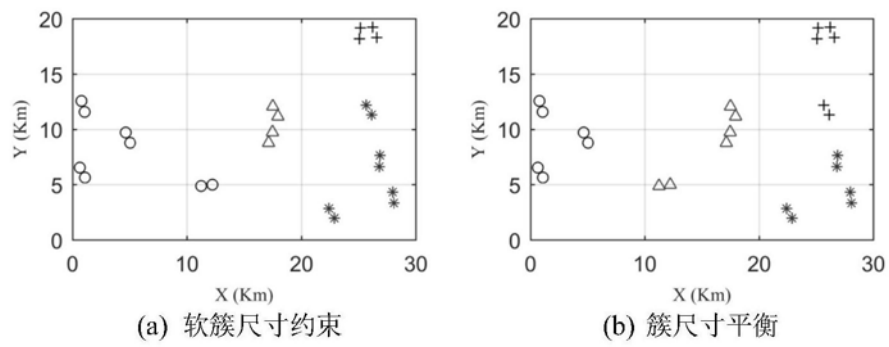


图4

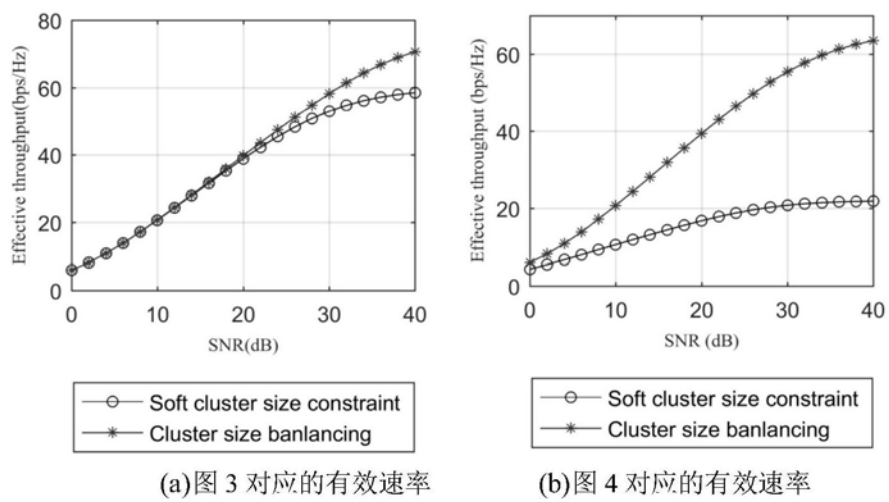


图5