

基于绿色能源感知的效用函数异构网络接入算法

方旭愿 田红心 孙德春 杜文丛 祁婷

(西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室 西安 710071)

摘要 在 5G 移动通信网络中,大量采用绿色和电网能源混合供电的通信基站可以显著降低运营成本。针对异构网络混合能源供电基站的用户接入问题,文中提出了基于绿色能源感知的综合效用函数接入算法(Green Energy Perception Comprehensive utility function, GEPC)和结合调节的综合效用函数接入算法(Green Energy Perception based Comprehensive utility function Adjustment algorithm, GEPCA)。用户首先根据基站的绿色能源状况、接入信噪比等接入选择参数加权计算出效用值,选择效用值最小的基站接入,用户接入基站后,通过基站对接入用户进行调节来实现降低总能耗费用的效果。MATLAB 仿真表明:GEPC 算法在低负载时相比于 RSRP(基于用户接收信号强度)、SINR(基于用户最大信干噪比)算法可以更有效地降低总能量消耗费用;在高负载时 GEPCA 算法和 NEAT(绿色能源用户感知接入)算法相比显著提高了绿色能源的利用率,使之达到 90%,同时有利于实现异构网络的负载均衡。

关键词 能耗费用,绿色能源,异构网络,用户接入

中图分类号 TN915.6 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.08.021

Utility Function Heterogeneous Network Access Algorithm Based on Green Energy Perception

FANG Xu-yuan TIAN Hong-xin SUN De-chun DU Wen-cong QI Ting

(State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract In the 5G mobile communication network, a large number of communication base stations using green and grid energy mixed power supply can reduce operating costs significantly. Aiming at the problem of user access of base stations supplied by hybrid energy in heterogeneous networks, a comprehensive utility function access algorithm based on green energy perception and a green energy perception based comprehensive utility function adjustment algorithm were proposed. The user first calculates the utility value according to the green energy status of the base station, the access signal-to-noise ratio and other access selection parameters, and selects the base station with the smallest utility value to access. After the user accesses the base station, the algorithm adjusts the access user through the base station to reduce the cost of energy costs. By using MATLAB platform, simulation results show that the GEPC algorithm can reduce the total energy consumption cost more effectively at low load compared to RSRP (based on user received signal power) and SINR (based on user maximum signal to interference and noise ratio) algorithm. Compared with the NEAT (Green Energy User Awareness Access) algorithm, the GEPCA algorithm significantly improves the utilization of green energy to 90% and is beneficial to heterogeneous network load balancing at high load.

Keywords Energy cost, Green energy, Heterogeneous network, User access

5G 网络的基站数量相比 4G 网络显著增加,使用绿色能源为基站供电,可以节能减排,有效降低成本。由于绿色能源存在供电不稳定的特性,不能保证基站稳定工作,因此绿色能源和电网能源混合为基站供电的方式成为一种优选方案^[1]。在混合能源为基站供电的异构蜂窝网络中,Wang 等^[2]研究了如何设计用户接入算法来有效利用绿色能源,通过制定一个约束的总能源成本最小化问题并将问题分解成接入问题和

最佳带宽分配问题进行求解。Kong 等^[3]研究了用户接入问题,并提出了集中式算法和分布式算法来最小化混合能源供应的异构网络的总能源成本。文献[4]从时间和空间两个维度解决能源消耗费用的最小化问题。Ansari 等^[5]提出了 NEAT(green Energy Aware user Association)方案,首先采取基于用户最大信干噪比(SINR)接入的方式^[6]对基站完成初始连接,然后通过与宏基站相连的服务器对宏基站、微基站

到稿日期:2018-07-30 返修日期:2018-10-20 本文受国家自然科学基金(61301170),中央高校基本科研业务费项目(JB150109),111 项目(B08038)资助。

方旭愿(1995-),女,硕士生,主要研究方向为异构网络、无线通信,E-mail:18792990279@163.com;田红心(1968-),男,硕士,副教授,主要研究方向为无线通信、卫星通信、通信信号处理,E-mail:hxtian@mail.xidian.edu.cn(通信作者);孙德春(1982-),男,博士,副教授,主要研究方向为通信信号处理、无线通信、卫星通信;杜文丛(1994-),女,硕士生,主要研究方向为异构网络、协作通信;祁婷(1982-),女,硕士生,主要研究方向为空间调制。

的绿色能源状态进行查询,调节消耗电网能源的基站,将其流量负载分流到其他工作在绿色能源状态的基站上,以提升绿色能源的利用率。相比基于用户最大信干噪比(SINR)的接入算法,该算法显著降低了能耗,但用户未能在连接前考虑基站能源状态,同时未能综合考虑其他衡量基站的性能参数。文献[7]主要研究了3G,4G和5G异构网络,并使用遗传算法和线性规划算法来解决优化问题。文献[8]提出了一种联合用户关联和基站ON/OFF策略的节能算法,基于基站(BS)的位置和负载将问题建模为整数线性规划模型,但均未考虑绿色能源。文献[9]采用多属性切换算法,将所切换的基站网络负载作为一个指标,在保证服务质量的情况下兼顾系统负载均衡。本文引入基站绿色能源状态作为接入选择参数,并提出了一种基于绿色能源感知综合效用函数的接入算法,该算法可有效地降低基站的总能耗费用。

1 系统模型

1.1 场景模型

设异构网络由宏基站和微基站组成,在宏基站周围分布4个微基站,其中微基站独立均匀地分布在宏小区的范围内,微基站与宏基站之间的距离是宏小区覆盖半径的0.6倍。宏基站和微基站都接有太阳能板,在网络中部署服务器完成对基站间指令的传输和信息的收集,用以收集和计算基站及用户的信息。网络架构图如图1所示。

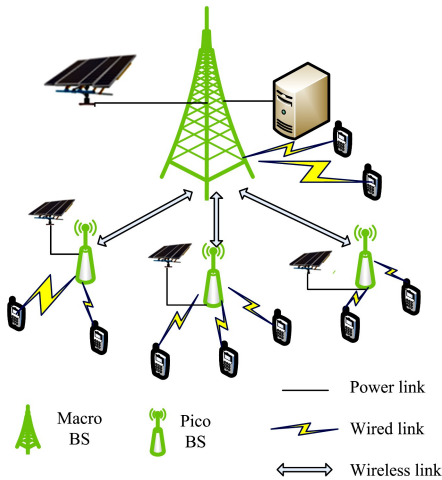


图1 网络框架图

Fig. 1 Network framework

为了缓解层间干扰,最大限度地降低总能耗费用,为宏基站和微基站动态分配带宽,将许可频谱 W_0 划分为两个分区,一部分供宏基站使用,带宽为 W_1 ;另一部分供微基站使用,带宽为 W_2 ,且带宽满足: $W_1 + W_2 \leq W_0$ 。

1.2 基站能耗模型

基站能耗采用线性功率模型表示,如式(1)所示:

$$P = P^{fix} + \Delta \times P^{active} \quad (1)$$

由此可知,基站功耗 P 由两部分组成: P^{fix} 指电路部分的固定功耗,只要基站开启就会有该部分的功率消耗; $\Delta \times P^{active}$ 指基站动态功耗, Δ 是动态功耗和发射功率之间的斜率,由基

站功率放大器、馈线特性以及空调制冷情况决定。

基站的发射功耗 P^{active} 利用单位频带功率计算(见式(2)),单位频带功率初始设置为定值,其中宏基站上的平均每赫兹带宽功率为 p_m ,微基站上的平均每赫兹带宽功率为 p_p 。

$$P_j^{active} = \begin{cases} \sum_{i \in U} x_{i,j} \omega_{i,j} p_p, & j \in P \\ \sum_{i \in U} x_{i,j} \omega_{i,j} p_m, & j \in M \end{cases} \quad (2)$$

其中, M 代表宏基站集合, P 代表微基站集合, U 表示用户集合。定义 \mathbf{X} 表示用户和基站之间的连接状态矩阵, i 为用户的序号,矩阵中元素 $x_{i,j}$ 为1,表示用户 i 与基站 j 连接;矩阵中元素 $x_{i,j}$ 为0,表示用户 i 与基站 j 不连接。 $\omega_{i,j}$ 代表用户 i 接入基站 j 分配的带宽,由香农公式可以得到 $\omega_{i,j}$,其中 R 代表用户连接到基站的数据速率, $\gamma_{i,j}$ 是在高斯白噪声环境下计算得到的信干噪比。

$$R = \omega_{i,j} \log(1 + \gamma_{i,j}) \quad (3)$$

$$\omega_{i,j} = R / \log(1 + \gamma_{i,j}) \quad (4)$$

$$\gamma_{i,j} = \begin{cases} \frac{p_j \cdot \rho_{i,j}^{-1}}{N_0}, & j \in M; \\ \frac{p_j \cdot \rho_{i,j}^{-1}}{N_0 + \sum_{k \in P, k \neq j} p_k \cdot \rho_{i,k}^{-1}}, & j \in P \end{cases} \quad (5)$$

式(5)表示用户接收到的基站的信干噪比, $\rho_{i,j}$ 是基站 j 发射功率到用户 i 的路径损耗,可由下文给出的信道模型计算。

初始时宏基站和每个微基站已经存储了绿色能源,宏基站的太阳能板功率大于微基站的太阳能板功率,宏基站可存储的能量大于微基站可存储的能量。

假设用户接入基站每隔固定时间间隔 τ 就更新并调整基站用户连接状态矩阵。在每个时间间隔内,每个用户仅由一个基站服务,且每个基站在一个时间间隔内只由一种能量供电。

假设每个间隔开始时基站存储的绿色能量为 E ,如果基站存储的绿色能量在一段时间内可以满足其能量消耗 C ,则该基站将使用绿色能源供电;否则使用电网能源为基站供电。

$$C_j = \tau \times P_j \quad (6)$$

1.3 信道模型

通过信道模型可以计算宏基站和用户间,以及微基站和用户间的平均路径损耗^[10],其中 d 是用户与相关基站的距离,单位为千米。对于路径损耗,在不同网络下计算传输损耗的信道模型不同,具体参数如表1所列。

表1 基站参数列表

Table 1 Parameter list of base station

类型	路径损耗/dB	距离/km
Macro	$L(d) = 128.1 + 37.6 \log(d)$	$0.01 < d < 5$
Pico	$L(d) = 130.7 + 36.7 \log(d)$	$0.01 < d < 5$

1.4 能源费用模型

以降低总能源消耗费用为目标,建立求解问题的优化模型为:

$$\min Z = \sum_{j \in \text{MUP}} a(1-g_j)C_j + bg_jC_j \quad (7)$$

其中,优化目标是使得系统的总能源消耗费用 Z 最小。 a 表示电网供电的单位费用; b 表示绿色能源的单位费用,此处指太阳能的单位费用; C 表示基站能耗; g 是基站工作状态标志位, g_j 为 1,表示基站 j 处于绿色能源供电状态; g_j 为 0,表示基站 j 处于电网供电状态。

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_{j \in \text{MUP}} a(1-g_j)C_j + bg_jC_j \\ \text{s. t. } &\sum_{i \in U} w_{i,j}x_{i,j} + \sum_{i \in U} w_{i,m}x_{i,m} \leq W^0, \forall k \in P \\ &\sum_{j \in \text{MUP}} x_{i,j} = 1, \forall i \in U \\ &R_i \geq R_0 \\ &a > b > 0 \end{aligned} \quad (8)$$

其中, a 表示的是电网供电的单位费用, b 表示绿色能源单位费用。根据系统模型和网络需求,在求解最小能耗费用时,约束条件为:宏基站和微基站的带宽服从动态分配,基站使用的带宽之和不大总带宽;每个用户只能与宏基站或者微基站中的一个相连;为保证用户的最低速率要求,需满足传输速率大于或等于最低速率。

式(8)是组合的非线性优化问题,即使是适度规模的网络也难以解决。本文借鉴 Ansari 提出的启发式算法来获得一个可行的解决方案,即采取复杂度低的方法将优化问题分解为用户接入基站、基站对用户调节两个阶段进行解决^[5]。

2 算法描述

2.1 基于绿色能源感知的综合效用函数的接入算法

基于多因素的综合开销函数的接入选择策略因能很好地兼顾网络整体性能、用户偏好以及网络场景差异,且具有很好的灵活性而被广泛应用。在研究异构网络接入问题时,文献[11]提出了综合效用函数的接入表达式:

$$F = \alpha \times c - \beta \times s + \gamma \times (d/10) - \delta \times \log_{10}(snr0) \quad (9)$$

其中,接入选择参数包括用户代价 c 、网络安全等级 s 、网络时延^[12] d 、用户接入信噪比 $snr0$ 。用户通过计算综合效用函数值来选择基站接入。用户代价是指用户选择接入该基站网络后对全部基站的影响系数,出于负载均衡的目的,在能够满足用户要求的服务质量的情况下,希望用户可以优先接入微基站,因此定义的宏基站的代价大于微基站的代价,宏基站的安全等级系数高于微基站的安全等级系数。式(9)对用户接入网络时延 d 进行除 10 处理、对接入信噪比进行对数处理,其目的均为将各接入选择参数调整到相同的数量级,各参数的权重满足 $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$ 。本文研究的是用混合能源为基站供电的情况,直接采用该接入表达式虽然可以起到均衡负载的效果,但是没有根据基站的绿色能源状态来为用户选择接入的基站。为降低能耗费用,将绿色能源感知作为接入参数,由此提出了基于绿色能源感知综合效用函数的接入选择算法 GEPC。该算法考虑的接入选择参数有用户代价、网络安全等级、网络时延、用户接入信噪比和基站绿色能源状态。

式(10)可以用来表示基于绿色能源感知的综合效用函数:

$$L = \alpha \times c - \beta \times s + \chi \times (d/10) - \delta \times \log_{10}(SINR) + \epsilon \times g \times \log_{10}(G) \quad (10)$$

其中, $G=C/E$ 代表此时基站消耗的能耗和绿色能源的比值,用于衡量基站的绿色能源状态; $\alpha, \beta, \chi, \delta, \epsilon$ 分别表示用户代价、网络安全等级、网络时延、接入信噪比和基站绿色能源状态等参数的权重,且满足条件 $\alpha + \beta + \chi + \delta + \epsilon = 1$ 。同样地,对基站绿色能源状态进行对数运算也是将其调整到相同的数量级,通过 g 对绿色能源状态进行微调。根据各接入参数之间的相对重要程度,用层次分析法^[13]得到属性的权重值,主要计算步骤如下。

构造判决矩阵 $A = [a_{ij}]_{5 \times 5}$:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \\ 3 & 2 & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 5 & 5 & 3 & 1 & \frac{1}{2} \\ 5 & 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

计算得到 A 的最大特征根为 5.2084,一致性指标 $C.R. = 0.0465 < 0.1$ 通过一致性检验,从而得到权重(对其保留两位有效数字):

$$W = [0.05, 0.1, 0.15, 0.3, 0.4]$$

由于网络中用户代价、网络安全等级、网络时延这 3 个参数是固定的,因此在确定基站的类型后,可以确定 L_0 ,如式(11)所示:

$$L_0 = \alpha \times c - \beta \times s + \chi \times (d/10) \quad (11)$$

由此,基于绿色能源感知的综合效用函数可以写为:

$$L = L_0 - \delta \times \log_{10}(SINR) + \epsilon \times g \times \log_{10}(G) \quad (12)$$

用户计算每个基站的综合效用函数值,找到函数值最小的基站进行连接,该优化问题可以描述成:

$$\min L_{i,j} = L_0 - \delta \times \log_{10}(SINR_{i,j}) + \epsilon \times g \times \log_{10}(G_{i,j})$$

$$\text{s. t. } \sum_{i \in U} w_{i,j}x_{i,j} + \sum_{i \in U} w_{i,m}x_{i,m} \leq W^0, \forall k \in P \quad (13)$$

$$\sum_{j \in \text{MUP}} x_{i,j} = 1, \forall i \in U \quad (14)$$

$$R_i \geq R_0, \forall i \in U \quad (15)$$

其中,式(13)表示带宽的配置,即宏基站和微基站带宽之和小于一个常数,式(14)代表每个用户只能与一个基站相连,式(15)表示基站需要保证接入用户需要的最低速率。

接入选择算法的流程图如图 2 所示。

该算法的具体步骤如下:

(1)首先初始化各基站的参数,包括基站的发射功率、固定功率和能源状态,然后初始化用户的信息,更新用户的位置。

(2)在给定的信道模型下,计算用户接入各个基站的接入信噪比 $SINR$ 和接入需要的带宽。

(3)对每个用户进行接入基站的选择,从第一个用户开始,对综合接入函数 L 进行升序排序,得到在基站中 L 函数的最小值进行拟接入。

(4)检验是否满足约束条件,找到微基站中占有带宽最大的微基站。

(5)在满足以上约束条件时,将用户 i 接入基站 j ,更新基站信息和综合接入函数 L ,并对下一个用户进行接入选择;在不足约束条件时,继续遍历其他基站,如果所有的基站均不满足条件,那么该用户暂时无法接入基站,进入阻塞的状态。

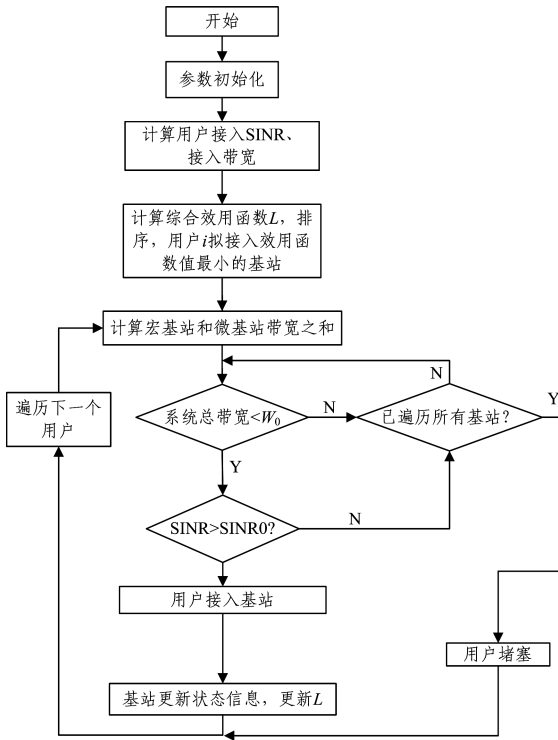


图 2 基于绿色能源感知综合效用函数算法流程图

Fig. 2 Green energy perception comprehensive utility function algorithm flowchart

综上,基于绿色能源感知的综合效用函数算法在每个用户请求接入网络时,结合基站端的绿色能源状态,计算用户接入各基站的综合接入函数值大小,在满足用户最低要求速率连接限制、基站带宽限制的情况下,可以将用户 i 接入到 $L_{i,j}$ 最小的基站 j 。

2.2 集中控制调节算法

集中控制调节算法是在基站侧使用的算法,具体步骤为:首先对基站进行状态监测,将基站分为两组,绿色能源供电的基站组成的集合为 Φ ,电网供电的基站组成的集合为 Ψ 。通过对基站连接的用户进行调节,尝试将集合 Ψ 中基站连接的用户转移到周围的绿色能源供电的基站,但需要保证不改变周围基站绿色能源供电的状态。对 Ψ 中的基站进行遍历,当基站转为绿色能源供电时或者周围基站无法接收该基站用户时即遍历下一个基站,目的是将电网供电的基站转换成绿色能源供电的状态,进而降低总能耗费用。将基于绿色能源感知的综合效用函数接入算法和调节算法相结合得到基于绿色

能源感知的综合效用函数调节算法 GEPCA。

3 实验和结果分析

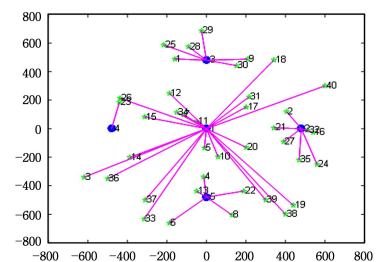
上节已经介绍了系统模型的部分参数设置,下面给出仿真时使用的参数列表,如表 2 所列。

表 2 参数列表

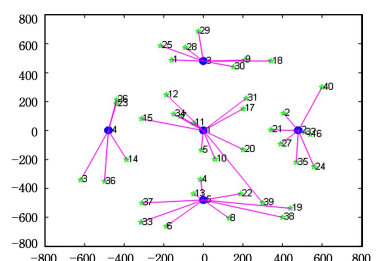
基站参数	Macro	Pico
$P^{fix}(\text{w})$	130	13.6
Δ	4.7	4.0
$\rho/(\text{W}/\text{Hz})$	2×10^{-6}	0.2×10^{-6}
c	4	2
s	3	2
d/ms	80	75

采用基于用户信干噪比的接入算法和本文提出的 GEPCA 算法进行仿真分析。图 3 是用户数为 40 时基站与用户的连接仿真图。基站 1 代表宏基站,基站 2—基站 5 代表微基站,绿色五角星代表用户,用户和基站间的连线表示用户接入该基站。

图 3(a)是基于用户接入信噪比的接入算法的仿真图,图 3(b)是本文提出的接入算法的仿真图。由图可知,由于宏基站的功率比微基站的功率较大,且带宽的配置使得宏基站和微基站间没有干扰,因此用户接收到的宏基站的信干噪比高于微基站,在不考虑绿色能源状态等其他因素的情况下,宏基站覆盖范围内的用户优先选择接入宏基站,只有距离微基站比较近的部分用户可以接入到微基站,系统负载分布不均,从而使得宏基站不易工作在绿色能源供电的状态。由表 2 参数可知,用户在接入微基站时平均时延小于用户接入宏基站时的平均时延。由图 3 分析可知,基于 GEPCA 的接入算法,接入微基站的用户数目增多,这会使得宏基站可工作在绿色能源的状态。因此,本文提出的 GEPCA 算法可以减小系统的总平均时延,同时有利于系统负载均衡。



(a) 基于用户的 SINR 接入



(b) 基于用户的 GEPCA 接入

图 3 用户与基站的连接仿真图

Fig. 3 Simulated diagram of connection between user and base station

接下来,在用户数量变化时对总能耗费用、绿色能源用户数进行仿真,将本文算法与基于用户的接收信号强度算法(RSRP)^[14]和基于用户的信干噪比(SINR)接入算法进行比较。设定宏基站存储的绿色能源可以提供给基站的功率为135 W,微基站存储的绿色能源可以提供给基站的功率为18 W。实验中仿真用户数从15变化到50,结果如图4所示。

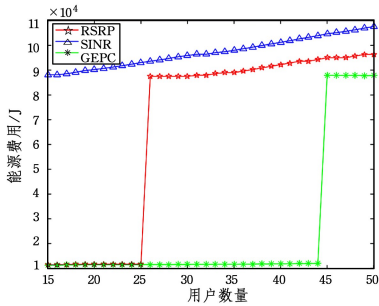


图4 使用 RSRP, SINR 和 GEPC 算法时的能源费用变化对比
Fig. 4 Energy cost comparison by using RSRP, SINR and GEPC

图4给出了3种用户接入选择方式下能源消耗费用随用户数量变化的情况。由给定的实验条件和场景可知,不同的接入方式都满足了用户接入需要的Qos,在满足了用户需求的同时,该系统在3种接入方式下达到的吞吐量是相同的。随着用户数目的增长,基站总能耗费用总体呈上升趋势。在基于用户接收强度接入算法和基于绿色能源感知综合效用函数的接入选择算法的费用变化对比图中,两者均有折线的剧变,因为宏基站的负载增加,会导致其消耗的能量超出绿色能源可以供应的能量,所以基站的供电方式转为了电网供电,绿色能源的单位能耗费用低于电网能耗费用,出现能耗费用的陡增。在用户数小于44时,GEPC算法的能耗费用远低于其他两种接入方式,同时使宏基站和微基站之间实现了负载均衡,宏基站工作在绿色能源的状态,能耗费用显著降低。

由图5可知,在相同的用户数情况下,提出的GEPC算法可使得接入绿色能源供电的基站的用户数量高于其他两种接入式,这与基站的工作状态呈现相同的变化趋势。

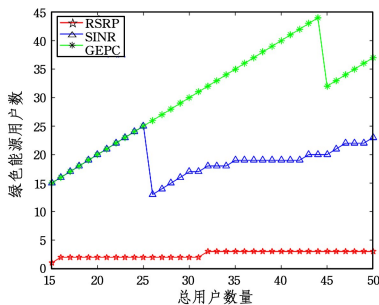


图5 RSRP, SINR 和 GEPC 的系统绿色能源用户数的变化对比图
Fig. 5 Change contrast chart of system green energy user number of RSRP, SINR and GEPC

对比了3种接入方式后,在基站侧对接入基站的用户进行调节以使更多的基站工作在绿色能源供电状态。采用NEAT接入方法、GEPC算法和GEPCA算法时,用户数量变化时的能耗费用、绿色能源用户数、绿色能源利用率的仿真结果如图6所示。随着用户数目的增长,基站能耗费用总体呈

上升趋势。由图6可知,采用经过调节算法后的GEPCA算法的能源费用保持在很低的水平,比基于绿色能源感知的GEP算法有更好的性能,其原因是在提出的接入算法接入用户后,经过基站间信息传输和计算集中控制调节,少量处于非绿色能源基站的非绿色能源用户得到了转移,使得更多的基站工作在绿色能源供电状态;与NEAT算法相比,提出的GEP算法能够使更多的基站工作在绿色能源供电的状态下,采取基于用户信号接收强度接入的算法进行调节后的基站,在用户数量超过35之后就无法使宏基站工作在绿色能源供电的状态下,由于绿色能源的单位能耗费用低于电网供电的单位能耗费用,因此出现能耗费用陡增的情况。

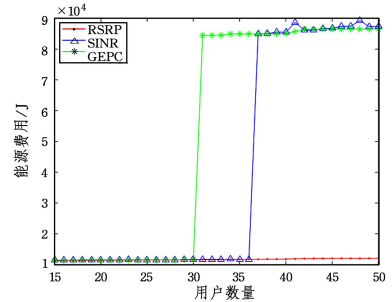


图6 NEAT, GEPC 和 GEPCA 的系统能耗费用变化图
Fig. 6 Change chart of system energy consumption cost of NEAT, GEPC and GEPCA

在不同的网络负载下,即用户数不同的条件下,接入绿色基站的用户数量变化如图6所示。随着负载的增加,接入绿色能源的用户数量也在增加,与NEAT算法相比,文中提出的GEP算法使得接入基站的用户均为绿色能源用户,降低了能源费用的消耗。

图7给出了绿色能源的利用率。绿色能源的利用率是使用的绿色能源和基站产生的绿色能源的比值。从图中可以发现,在负载较低时,利用率均接近90%,随着负载的增加,GT-PC算法在用户数量超过30时,绿色能源利用率降低,这是因为此时宏基站工作在电网供电状态下,NEAT算法对接入的用户进行了调节,但是由于初始状态是在SINR接入下调节的,未考虑接入基站的能源状态,负载分布不均匀,随着接入用户数的增加,在用户数超过37时,基站由绿色能源工作状态切换至电网能源工作状态,绿色能源无法为基站供电,因此绿色能源利用率降低,而GEP算法的绿色能源利用率则一直保持在90%左右。

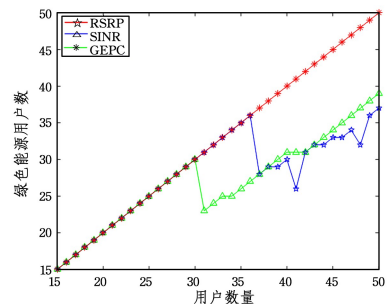


图7 NEAT, GEPC 和 GEPCA 的系统绿色能源用户数的变化对比图
Fig. 7 Change contrast chart of system green energy user number of NEAT, GEPC and GEPCA

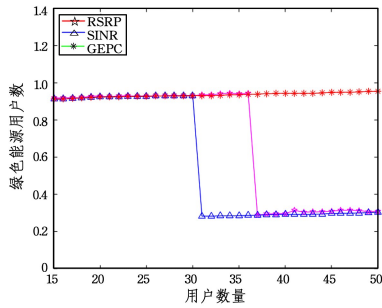


图8 NEAT, GEPC 和 GEPCA 的基站绿色能源利用率变化图

Fig. 8 Change map of base station green energy utilization of NEAT, GEPC and GEPCA

综上所述, GEPCA 算法将基站的能源状态作为用户接入选择的一个参数标准来计算其综合接入函数, 在用户接入基站进行选择时更加灵活, 增加了接入绿色基站的数目, 降低了总能耗费用, 提高了绿色能源的利用率, 减小了时延。在负载较低时, GEPC 算法使用户在用户端进行运算和选择, 基站间无需进行信息传递和协作, 在实际环境中更容易实现, 计算量小, 复杂度低, 同时能降低能源消耗费用。

结束语 本文在以混合能源为基站供电的工作方式的异构网络下, 提出了基于绿色能源感知的综合效用函数的接入选择算法 GEPC 和 GEPCA, 达到了降低异构网络中的总能源消耗费用的目的。在低负载情况下采用 GEPC 算法可以在用户初次接入、基站不需要调节的情况下降低总能源消耗费用, 同时提高接入算法的效率; 在负载高时, 可通过 GEPCA 算法降低基站总能源消耗费用, 同时在保证系统吞吐量的条件下达到减小时延的目的。该算法可以应用到异构网络基站供电系统中, 根据负载和绿色能源的状态调整用户接入基站的情况, 从而降低电网能源的消耗, 同时提高绿色能源的利用率, 为采取混合能源为基站供电的异构网络能源分配提供了新的思路和方向。

参考文献

[1] HAN T, ANSARI N. On optimizing green energy utilization for cellular networks with hybrid energy supplies[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(8): 3872-3882.

[2] WANG B, KONG Q, LIU W, et al. On efficient utilization of green energy in heterogeneous cellular networks[J]. IEEE Systems Journal, 2017, 11(2): 846-857.

[3] WANG B, KONG Q, YANG L T. Context-aware user association for energy cost saving in a green heterogeneous network with hybrid energy supplies[J]. Mobile Networks and Applications, 2015, 20(6): 802-816.

[4] WANG B, YANG Q, YANG L T, et al. On minimizing energy consumption cost in green heterogeneous wireless networks[J]. Computer Networks, 2017, 129: 522-535.

[5] FAN Q, ANSARI N. Green energy aware user association in heterogeneous networks[C] // Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE, 2016: 1-6.

[6] CORROY S, FALCONETTI L, MATHAR R. Dynamic cell association for downlink sum rate maximization in multi-cell heterogeneous networks[C] // Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC' 12). Ottawa, Canada, 2012.

[7] SHUMINOSKI T, GAVRILOVSKA L, JANEVSKI T. QoS Performances of heterogeneous networks with Multiple Radio Access Technologies[J]. IEEE EUROCON, 2017, 6: 132-137.

[8] LUN T, WEILI W, YANG W, et al. An Energy-Saving Algorithm With Joint User Association, Clustering, and On/Off Strategies in Dense Heterogeneous Networks[J]. IEEE Access, 2017, 5: 12988-12300.

[9] GAO X E, LI K Q. Research on heterogeneous network access selection algorithm based on improved multiple attribute[J]. Computer Science, 2017, 44(6): 97-101. (in Chinese)
高秀娥, 李克秋. 基于改进多属性判决的异构网络接入选择算法[J]. 计算机科学, 2017, 44(6): 97-101.

[10] TSG-RAN G. Further advancements for E-UTRA physical layer aspects 3G TR36. 814 v9. 0. 0[R]. New York, USA: 3GPP, 2010.

[11] WU K. Resource Management of 5 G Mobile Communication Network Based on the Energy Efficiency[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016. (in Chinese)
吴坤. 5G 移动通信网络基于能效的资源管理[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.

[12] OMHANI N, ZARAI F, OBAIDAT M S, et al. A MIH-based approach for best network selection in heterogeneous wireless networks[J]. Journal of Systems & Software, 2014, 92(1): 143-156.

[13] LUO Y J. Research on Heterogeneous Network Access Selection Scheme [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
罗玉娇. 异构网络接入选择方案研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.

[14] PAHLAVAN K, KRISHNAMURTHY P, HATAMI A, et al. Handoff in hybrid mobile data networks[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(2): 34-47.