

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 7 月 5 日 (05.07.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/120935 A1

(51) 国际专利分类号:
H04W 72/04 (2009.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/102745

(22) 国际申请日: 2017 年 9 月 21 日 (21.09.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
2016112683268 2016 年 12 月 31 日 (31.12.2016) CN

(71) 申请人: 山东大学 (SHANDONG UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国山东省济南山东省济南市历城区
山大南路 27 号, Shandong 250199 (CN)。

(72) 发明人: 马丕明 (MA, Piming); 中国山东省济南市
历城区山大南路 27 号, Shandong 250199 (CN)。
余彬 (YU, Bin); 中国山东省济南市历城区山

大南路 27 号, Shandong 250199 (CN)。 马艳波
(MA, Yanbo); 中国山东省济南市历城区山大
南路 27 号, Shandong 250199 (CN)。

(74) 代理人: 济南金迪知识产权代理有限公司 (JINAN JINDI INTELLECTUAL PROPERTY
AGENCY CO.,LTD); 中国山东省济南历城区山
大南路 27 号, Shandong 250199 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家
保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: RESOURCE ALLOCATION AND ENERGY MANAGEMENT METHOD FOR COLLABORATIVE CELLULAR NETWORK

(54) 发明名称: 一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法

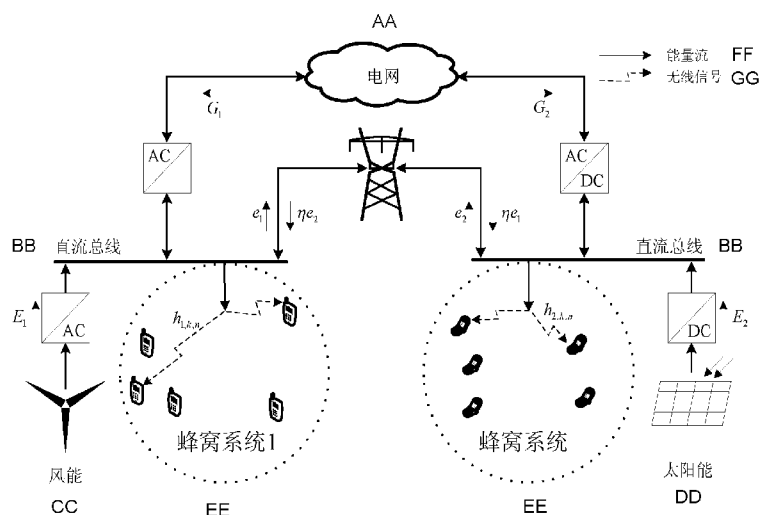


图 1

AA Power grid
BB Direct-current bus
CC Wind energy
DD Solar energy
EE Cellular system
FF Energy flow
GG Wireless signal

(57) Abstract: The present invention relates to a resource allocation and energy management method for a collaborative cellular network. The resource allocation and energy management method for the collaborative cellular network of the present invention ensures communication quality of each user by satisfying the minimum communication rate of each user, can minimize a sum of costs of two collaborative communication networks, and can guarantee the communication rate requirement of each user at the same time.

(57) 摘要: 本发明涉及一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法。本发明所述协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法, 通过满足每个用户的最小通信速率以保证每个用户的通信质量; 不仅能够最小化两个协作通信网络的成本和, 同时还能够保证每个用户的通信速率要求。

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

- 关于发明人身份(细则4.17(i))
- 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法

技术领域

本发明涉及一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法，属于无线通信的技术领域。

背景技术

无线通信技术快速发展，已经发展到 5G 技术。技术的快速发展使得通信速率和通信质量越来越好，同时，无线设备的数量也是随之快速增长，进而，整个网络系统的能量消耗也是大幅度增长。为了响应绿色通信的理念，科研学者开始将目光投向可再生能源，以此来取代部分传统的电能，例如，太阳能，风能等可再生能源。这一做法不但符合可持续发展以及绿色通信的理念，而且，可再生能源的价格也低于传统电网的价格，这也使得购买电能的成本大大降低。因此，越来越多的学者开始研究这种具有能量收集功能的网络中的功率分配和能量管理问题。

在通信系统中，频谱是另外一种紧缺的资源。多载波技术具有很强的抗干扰能力，而且在分配时也具有很大的灵活性。因此被广泛地应用在蜂窝网络中。例如正交频分复用技术。为了应对频谱紧张而移动设备大量增加的矛盾问题，不同的蜂窝系统之间进行子载波共享分配也是一个可行的办法，以此来缓解频谱紧张问题。

最近有很多学者来研究联合分配上述两种资源（能量资源和频谱资源），但是并没有考虑在引入可再生能源的模式下，以最小化整个网络的成本为驱动目标，将这两种资源同时进行联合共享分配。例如，中国专利 CN102638891A 公开了一种基于能量有效性的无线通信资源分配方法和系统。该系统是一种含有中继的网络系统，通过中继节点进行协作；该系统虽然是研究资源分配，但是是以提高系统的能效，即单位能量内能够传输尽可能多的信息，同时考虑能量消耗和信息传输量；该专利中的资源分配方法中子载波分配方法主要依据是节点的目标速率，瞬时能量性能以及瞬时数据速率；资源分配只涉及到子载波分配，没有设计到功率分配和能量管理；在效果上，该系统是致力于提高系统能效。

目前，查阅到的资料中，仍然没有在引入可再生能源的模式下的协作蜂窝网络中在保证移动用户通信速率要求且联合资源共享分配的先例。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明提供一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法。

术语说明：

KKT 条件: Karush-Kuhn-Tucker

优化问题的标准形式为:

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && f_0(x) \\ & \text{subject to} && f_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m \\ & && h_i(x) = 0, i = 1, \dots, p \end{aligned}$$

其中, $f_0(x)$ 是目标函数, $f_i(x) \leq 0$ 是不等式约束, $h_i(x) = 0$ 是等式约束, 该优化问题的拉格朗日函数定义为:

$$L(x, \lambda, \nu) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(x) + \sum_{i=1}^p \nu_i h_i(x)$$

其中, λ_i 为第 i 个不等式约束 $f_i(x) \leq 0$ 对应的拉格朗日因子, ν_i 为第 i 个等式约束 $h_i(x) = 0$ 对应的拉格朗日因子。当优化问题是凸问题的时候, 满足 KKT 条件的点也就是原问题的最优解, 我们定义 x^*, λ^*, ν^* 为 x, λ, ν 所对应的最优解, 则有:

$$\begin{aligned} f_i(x^*) &\leq 0, i = 1, \dots, m \\ h_i(x^*) &= 0, i = 1, \dots, p \\ \lambda_i^* &\geq 0, i = 1, \dots, m \\ \lambda_i^* f_i(x^*) &= 0, i = 1, \dots, m \\ \nabla f_0(x^*) + \sum_{i=1}^m \lambda_i^* \nabla f_i(x^*) + \sum_{i=1}^p \nu_i^* \nabla h_i(x^*) &= 0 \end{aligned}$$

其中, ∇ 为求偏导符号, 我们将上面的五个式子称之为 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 条件。

本发明的技术方案为:

一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法, 由以下系统实现: 该系统包括两个蜂窝网络, 每个蜂窝网络包括一个基站和 K_i 个用户, 其中 i 为基站编号, $i \in \mathbf{M}$, $\mathbf{M} = \{1, 2\}$, K_i 表示在基站 i 中有 K_i 个用户, 用户 $k \in \mathbf{K}_1 \cup \mathbf{K}_2$, 集合 $\mathbf{K}_1 = \{1, 2, \dots, K_1\}$ 和 $\mathbf{K}_2 = \{1, 2, \dots, K_2\}$ 分别表示两个基站中用户的集合; 两个基站共享同一段频谱, 并将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波, 每个子载波的带宽为 B ; 令 $x_{i,k,n}$ 为子载波分配因子, 其中, n 表示第 n 个子载波, $n \in \mathbf{N}$, 子载波的集合 $\mathbf{N} = \{1, 2, \dots, N\}$, 当子载波 n 分配给了基站 i 中的第 k 个用户时, $x_{i,k,n} = 1$;

否则, $x_{i,k,n} = 0$, 且每个子载波仅能分配给一个用户; 将基站 i 中的第 k 个用户在第 n 个子载波上的信道增益表示为 $h_{i,k,n}$; 在整个网络中, 每个基站所需的能量来源于可再生能源、电网以及其他基站所共享的能量, 当某个基站所收集到的可再生能源比较充足, 而另一个基站所收集到的可再生能源不充足时, 则该基站就会向另一个基站共享部分能量, 其过程为: 该基站首先通知另外一个基站其可以共享的能量的多少, 然后另一个基站反过来给出自己的需求量, 其次该基站进行升压操作, 并将需要共享的能量注入电网之中, 与此同时, 另一个基站进行降压操作, 从电网中获取共享的能量, 以此来降低整个网络购买能源的成本;

具体步骤如下:

1) 计算每个用户的通信速率和:

基站与用户之间通过子载波通信, 每个用户在其所分配到的所有子载波上的通信速率和为:

$$r_{i,k,n} = \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{BN_0} \right) \quad (1)$$

其中 $p_{i,k,n}$ 表示基站 i 中第 k 个用户在第 n 子载波上的传输功率, N_0 表示高斯白噪声的功率谱密度;

2) 计算每个基站所消耗的能量

每个基站的能量消耗有三个部分: 第一部分是电路消耗 $P_{c,i}$; 第二部分是发射信号所需要的能量 P_i , 且 $P_i = \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n}$; 第三部分是基站 i 所共享的能量 e_i , 则基站 i 消耗的总能量:

$$C_i = P_{c,i} + \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + e_i \quad (2)$$

3) 确定优化问题

以整个系统的成本为目标函数, 每个子载波的分配情况、每个基站从可再生能源公司所能购买的最大能量、每个用户的通信速率和以及每个基站消耗的总能量为约束条件, 构造如下优化问题:

$$\min \sum_{i \in M} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$$

$$\begin{aligned}
& \text{Subject to: } \sum_{i \in \mathbf{M}} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} = 1 \\
& E_i \leq \bar{E}_i \\
& \sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} P_{i,k,n}}{B N_0} \right) \geq R_{i,k} \\
& \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i \leq E_i + G_i + \eta e_{\bar{i}}
\end{aligned} \tag{3}$$

其中, $\bar{i}$ 表示第 $\bar{i}$ 基站, $\bar{i} \in \mathbf{M} \setminus \{i\}$, $\mathbf{M} \setminus \{i\}$ 表示 $\bar{i}$ 属于集合 $\mathbf{M}$ 除去元素 i 之后的集合; γ_i^E 表示可再生能源的单价; γ_i^G 表示电网中的电能的单价; $R_{i,k}$ 表示每个用户所需的最小通信速率; E_i 表示基站 i 购买的可再生能源的量; G_i 表示基站 i 从电网中购买的能量; $e_{\bar{i}}$ 表示基站 $\bar{i}$ 共享给基站 i 的能量; η 表示能量传输效率; $\bar{E}_i$ 表示可再生能源公司所能提供的最大能量; 求解目标函数 $\sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$ 的最小值被称为原问题;

符号 $\min$ 表示最小值符号, 符号 Subject to 表示约束符号, 上述式子表示在对每个子载波的分配限制、每个基站所能从可再生能源公司所购买的最大能量、每个用户的最小通信速率需求以及每个基站消耗的总能量的约束条件下, 求解目标函数 $\sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$ 的最小值; 求解目标函数的最小值被称为原问题;

4) 求解优化问题

所述优化问题中含有整数变量 $x_{i,k,n}$ 和连续型变量, 因此该优化问题是一个混合二进制整数规划问题, 为了让这个问题容易求解, 我们采用放松整数型变量 $x_{i,k,n}$ 的方法, 将整数型变量 $x_{i,k,n}$ 从原来的 0、1 取值放松到 0 到 1, 即 $x_{i,k,n} \in [0, 1]$, 此时, 原优化问题由原来的混合二进制整数规划问题变成了一个凸优化问题, 同时, 为了后面表述简单, 我们重新定义一个变量 $s_{i,k,n}$, 且 $s_{i,k,n} = x_{i,k,n} p_{i,k,n}$;

将整数型变量 $x_{i,k,n}$ 从原来的 0、1 取值放松到 0 到 1, 即 $x_{i,k,n} \in [0, 1]$, 重新规划原优化问题:

$$\min \sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$$

$$\text{Subject to: } E_i \leq \bar{E}_i$$

$$\sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}}{x_{i,k,n} B N_0} \right) \geq R_{i,k}$$

$$\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in \mathbf{N}} s_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i \leq E_i + G_i + \eta e_{\bar{i}} \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \mathbf{M}} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} = 1$$

$$s_{i,k,n} \geq 0$$

$$0 \leq x_{i,k,n} \leq 1$$

很容易证明优化问题 (4) 是一个凸问题，具有唯一的全局最优解，利用拉格朗日对偶理论，可以建立最小化问题即原问题与一个最大化问题即对偶问题之间的关系，因为所研究的原问题具有强对偶性，因此可以通过求解对偶问题来得到原问题的最优解，为了表达方便，我们定义符号 Ψ 来代替 E_i , G_i 和 e_i ;

定义符号 Ψ 代替 E_i , G_i 和 e_i , 即 $\Psi = \{E_i, G_i, e_i, i \in \mathbf{M}, k \in \mathbf{K}_i, n \in \mathbf{N}\}$, 则原问题的拉格朗日函数为:

$$\begin{aligned} L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \mathbf{v}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu}) = & \sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\ & - \sum_{i \in \mathbf{M}} \sum_{k=1}^{K_i} \lambda_{i,k} \left[\sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}}{x_{i,k,n} B N_0} \right) - R_{i,k} \right] + \sum_{i=1}^2 \varphi_i (E_i - \bar{E}_i) \\ & + \sum_{i \in \mathbf{M}} \mu_i \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in \mathbf{N}} s_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i - E_i - G_i - \eta e_{\bar{i}} \right] + \sum_{n \in \mathbf{N}} \nu_n \left(1 - \sum_{i \in \mathbf{M}} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

分别定义 $s_{i,k,n}^*$ 和 $x_{i,k,n}^*$ 为变量 $s_{i,k,n}$ 和 $x_{i,k,n}$ 的最优值；通过应用 KKT 条件，变量 $s_{i,k,n}$ 和 $x_{i,k,n}$ 取得最优值的充要条件为:

$$\frac{\partial L}{\partial s_{i,k,n}^*} \begin{cases} = 0, s_{i,k,n}^* > 0 \\ < 0, s_{i,k,n}^* = 0 \end{cases}$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}^*} \begin{cases} > 0, x_{i,k,n}^* = 0 \\ = 0, 0 < x_{i,k,n}^* < 1 \\ < 0, x_{i,k,n}^* = 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$\lambda_{i,k} \left[\sum_{n \in \mathbb{N}} x_{i,k,n}^* B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}^*}{x_{i,k,n}^* B N_0} \right) - R_{i,k} \right] = 0$$

原问题的对偶函数为：

$$g(\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) = \min_{\mathbf{p}, \boldsymbol{\Psi}} L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \boldsymbol{\Psi}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) \quad (7)$$

其中 $\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}$ 分别表示公式 (4) 中前四个约束条件的对偶向量, $\lambda_{i,k}$ 、 φ_i 、 μ_i 、 v_n 分别表示公式 (4) 中前四个约束条件中每一个约束式所对应的拉格朗日对偶因子, $\lambda_{i,k}$ 、 φ_i 、 μ_i 、 v_n 分别是对偶向量 $\boldsymbol{\lambda}$ 、 $\boldsymbol{\varphi}$ 、 $\boldsymbol{\mu}$ 、 $\mathbf{v}$ 中的元素, 对偶函数 (7) 对应的对偶问题表述如下：

$$\max : g(\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) \quad (8)$$

$$\text{Subject to: } \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v} \geq 0$$

对偶问题 (8) 所求得的最优值即为原问题的最优值；

对偶因子受限于约束条件 $\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v} \geq 0$, 因此可以通过优化对偶因子 $\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}$ 来求解目标函数即对偶函数 $g(\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v})$ 的最大值, 由于原问题具有强对偶性, 因此对偶问题 (8) 所求得的最优值即为原问题的最优值。

A) 最优功率分配求解

将原问题的拉格朗日函数对变量 $s_{i,k,n}$ 求偏导, 并且令其偏导等于 0, 即：

$$\frac{\partial L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \boldsymbol{\Psi}, \mathbf{v}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu})}{\partial s_{i,k,n}} = 0 \quad (9)$$

求解 (9) 式, 得到基站 i 中的第 k 个用户在第 n 个子载波上的最优传输功率 $p_{i,k,n}^*$ ：

$$p_{i,k,n}^* = \frac{s_{i,k,n}^*}{x_{i,k,n}^*} = \left[\frac{\lambda_{i,k} B}{\mu_i \ln 2} - \frac{B N_0}{h_{i,k,n}} \right]^+ \quad (10)$$

其中符号 $[\cdot]^+$ 表示 $[\cdot]$ 中的部分取非负值；

B) 最优子载波分配求解

将原问题的拉朗日函数对变量 $x_{i,k,n}$ 求偏导，即：

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}} = \lambda_{i,k} \left[\frac{s_{i,k,n} h_{i,k,n}}{(x_{i,k,n} B N_0 + s_{i,k,n} h_{i,k,n}) \ln 2} - B \log_2 \left(1 + \frac{s_{i,k,n} h_{i,k,n}}{x_{i,k,n} B N_0} \right) \right] - v_n \quad (11)$$

将式 (10) 代入式 (11)，并应用 KKT 条件得到：

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}} = H_{i,k,n} - v_n \quad (12)$$

其中，

$$H_{i,k,n} = \lambda_{i,k} B \left[\frac{1}{\ln 2} - \frac{\mu_i N_0}{\lambda_{i,k} h_{i,k,n}} - \log_2 \frac{\lambda_{i,k} h_{i,k,n}}{\mu_i N_0 \ln 2} \right] \quad (13)$$

应用充要条件 (6) 中的第二个条件可得：

$$x_{i,k,n}^* = \begin{cases} = 0, & H_{i,k,n} > v_n \\ = 1, & H_{i,k,n} < v_n \end{cases} \quad (14)$$

由问题 (4) 中的第四个约束条件可知，子载波的分配问题被分解为 N 个独立的问题，对于每一个子载波而言，如果 $H_{i,k,n}$ 均不相同，那么将仅有一个用户在使用该子载波的时候，其 $H_{i,k,n}$ 将最小，换言之， $H_{i,k,n}$ 最小的用户将会被分配到该子载波；

$H_{i,k,n}$ 最小的用户被分配到第 n 个子载波，即：

$$x_{i,k^*,n}^* = 1, x_{i,k,n}^* = 0, \forall k \neq k^*, \quad k^* = \arg \min_k H_{i,k,n} \quad (15)$$

其中，符号 $\arg \min_k []$ 表示求使得 $[]$ 内的部分取最小值时 k 的取值；

C) 最优能量管理求解

至此已经求出最优的发射功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$ ，下一步求解最优的 E_i^* ， G_i^* 和 e_i^* ，为了降低整个网络的能量购买成本，我们优先购买可再生能源，因为可再生能源的价格比传统电网的电价价格低，此外，能量共享的原则是：当某一个基站可以购买的可再生能源比其所需求的要多，而另一个基站所能购买的可再生能源不够其需求，此时该基站就会向另一个基站共享部分能量，以此来进一步降低网络的成本，换言之，当两个基站所能购买的可再生能源均不够其需求或者均能满足其需求时，此时两个基站将不会共享其能量给其他基站，因此我们可以根据两个基站所共享的能量是否为零，将 E_i^* ， G_i^* 和 e_i^* 的求解问题采用分类讨论的思想进行求解：

情形一、最优的共享能量为 0，即：

$$e_i^* = 0 \quad (16)$$

定义能量消耗变量 $E_c^{(i)}$ ， $E_c^{(i)}$ 表示基站 i 的电路消耗和信号传输消耗，且 $E_c^{(i)} = \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in S_{i,k}} p_{i,k,n} + P_{c,i}$ ，根据优先购买可再生能源的原则，进一步求出最优的 E_i^* 和 G_i^* ，即：

$$E_i^* = \min(E_c^{(i)}, \bar{E}_i) \quad (17)$$

$$G_i^* = \max(E_c^{(i)} - \bar{E}_i, 0) \quad (18)$$

情形二、最优的共享能量不为 0：两个基站中有一个基站所能购买的可再生能源比较充足，而另一个基站所能购买的可再生能源不充足，此时我们假设基站 i 所能购买可再生能源是充足的，而基站 $\bar{i}$ 所能购买的可再生能源不充足，即： $E_c^{(i)} \leq \bar{E}_i$ 且 $E_c^{(\bar{i})} > \bar{E}_{\bar{i}}$ ；

设 $E_c^{(i)} \leq \bar{E}_i$ 且 $E_c^{(\bar{i})} > \bar{E}_{\bar{i}}$ ，由此可知，基站 i 不需要从电网中购买能量，即：

$$G_i^* = 0 \quad (19)$$

根据能量共享的原则可知基站 $\bar{i}$ 不需要共享能量，即：

$$e_{\bar{i}}^* = 0 \quad (20)$$

由于可再生能源的价格比传统电网的电能的价格要低，因此基站应该优先购买可再生能源，则基站 $\bar{i}$ 应该购买其所能购买到的所有的可再生能源；

基站 $\bar{i}$ 购买其所能购买到的所有的可再生能源，即：

$$E_{\bar{i}}^* = \bar{E}_{\bar{i}} \quad (21)$$

对于基站 i 所能购买到的可再生能源，基站 i 在满足自身的能量需求外，其过剩的可再生能源将会共享给基站 $\bar{i}$ ，但是，基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量有两种可能性，即：基站 i 共享的能量能够满足基站 $\bar{i}$ 或者不能够满足基站 $\bar{i}$ 的需求，我们考虑共享的能量在传输过程中的损耗 η ；

情形 a)、基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量满足基站 $\bar{i}$ 的需求，即 $\eta(\bar{E}_i - E_c^{(i)}) \geq E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}$ ，此时基站 i 共享的最优能量为：

$$e_i^* = (E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}) / \eta \quad (22)$$

基站 i 所购买可再生能源为其自身消耗的能量 $E_c^{(i)}$ 以及其共享给基站 $\bar{i}$ 的能量 e_i^* ，即基站 i 需要

购买的可再生能源的能量为：

$$E_i^* = E_c^{(i)} + e_i^* \quad (23)$$

由于基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量能够满足基站 $\bar{i}$ 的需求，因此基站 $\bar{i}$ 不需要从电网中购买能量，即：

$$G_{\bar{i}}^* = 0 \quad (24)$$

情形 b)、基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量不能满足基站 $\bar{i}$ 的需求，即 $\eta(\bar{E}_i - E_c^{(i)}) < E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}$ ，则此时基站 i 应该购买所有的可再生资源，即：

$$E_i^* = \bar{E}_i \quad (25)$$

并且，基站 i 应该将在满足自身能量需求之外所剩余的可再生能源全部共享给基站 $\bar{i}$ ，即基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的最优能量为：

$$e_i^* = E_i^* - E_c^{(i)} \quad (26)$$

在基站 $\bar{i}$ 接收了基站 i 共享的能量之后，基站 $\bar{i}$ 还缺少的能量由基站 $\bar{i}$ 自身向电网购买，即基站 $\bar{i}$ 向电网购买的能量为：

$$G_{\bar{i}}^* = E_c^{(\bar{i})} - E_{\bar{i}}^* - \eta e_i^* \quad (27);$$

式 (10) 和式 (15) 中含有拉格朗日对偶因子 $\lambda_{i,k}$ 和 μ_i ，当它们取到最优时，最优的发射功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$ ，以及最优的能量管理 E_i^* ， G_i^* 和 e_i^* 也取到了最优值。拉格朗日对偶因子最优值的求解可以通过子梯度迭代算法求解；

拉格朗日对偶因子最优值的具体求解过程如下：

a) 设初始迭代次数 $t=0$ ，设每个用户的最小通信速率，初始化对偶因子集合初始值 $\lambda(0)$ ， $\mu(0)$ 为非负实数；

b) 当迭代次数为 t 时，用 $\lambda(t)$ ， $\mu(t)$ 表示当前更新的拉格朗日对偶因子，将对偶因子集合 $\lambda(t)$ 、 $\mu(t)$ 代入公式 (10) 和 (15) 中得到对应的最优信号传输功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$ ，然后根据式 (16) - (27) 计算出最优的能量管理 E_i^* ， G_i^* 和 e_i^* ；

c) 采用以下公式分别更新 2 种拉格朗日对偶因子：

$$\lambda_{i,k}(t+1) = \left[\lambda_{i,k}(t) + s_- \lambda(t) \left[R_{i,k} - \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{BN_0} \right) \right] \right]^+$$

$$\mu_i(t+1) = \left[\mu_i(t) + s_- \mu(t) \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i - E_i - G_i - \eta e_i^- \right] \right]^+$$

其中, $s_- \lambda(t)$ 和 $s_- \mu(t)$ 分别表示相应的拉格朗日对偶因子对应的迭代步长, t 表示迭代次数;

d) 令 $\lambda^* = \lambda(t+1)$, $\mu^* = \mu(t+1)$, 若 λ^* 和 μ^* 满足预定义的数据精度, 则输出最优对偶因子集合 λ^* 和 μ^* , 否则, 令 $t = t+1$, 跳转至步骤 b), 继续迭代, 直到满足预定义的数据精度;

5) 计算基站与每个用户通信时的最优发射功率, 最优子载波分配以及最优能量管理;

将得到的最优拉格朗日因子最优集合 λ^* 和 μ^* 代入式 (10) - (27) 中, 即可得到在满足每个用户的最低通信速率的条件之下的最优资源分配和能量管理。

优选的, 所述用户为单天线用户; 所述子载波为正交窄带子载波。

优选的, 将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波的方法为, 采用正交频分复用调制技术将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波。

本发明的有益效果为:

1. 本发明所述协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法, 通过满足每个用户的最小通信速率以保证每个用户的通信质量; 不仅能够最小化两个协作通信网络的成本和, 同时还能够保证每个用户的通信速率要求;

2. 本发明所述子载波使用是两个基站共同使用的, 这不仅能够提高频率利用率, 避免出现固定每个基站的子载波使用数量的方法所造成的一个基站子载波过剩, 而另一个基站的子载波短缺的现象, 同时该子载波分配方法也是以最小化整个网络的成本和为目标, 是在该种网络系统中最优的子载波分配方案;

3. 本发明所述功率分配是以最小化整个网络的成本为目标, 在满足约束条件下尽可能减少整个网络的功率损耗, 从源头上降低能量损耗, 从而降低整个网络的成本, 且该功率分配是在该种网络系统中最优的分配方案;

4. 本发明所述能量管理方案是一种本文所建立的网络中最优能量管理方案, 该方案引入可再生能源, 并且优先购买价格更加便宜的可再生能源, 另外, 在可再生能源不充足的时候购买传统电网中的电能, 这一做法既保证了整个网络的稳定性, 同时从购买源上来降低网络的购买成本;

5. 本发明所述能量管理方案中的两个基站之间是可以进行能量共享的，当其中某一个基站所能购买的可再生资源较充足而另一个基站的状态却恰好相反时，这是该基站就会向另一个基站共享部分可再生能源，虽然增加了该基站的购买成本，但是却进一步降低了整个网络的购买成本；

6. 本发明所述协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法中的两个基站之间是直接进行能量协作，不含有中继节点；且引入了可再生能源，整个系统的能量供应是可再生能源和传统电网共同完成的，这两种能源的购买价格，购买量都对系统形成重要的影响，必须被考虑；

7. 本发明所述协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法，研究目标是最小化整个系统的成本，即尽可能少消耗点能量，并且尽可能购买价格便宜的能源，同时考虑的是能量消耗和购买价格和成本的问题。

附图说明

图 1 为本发明所述系统的结构示意图；

具体实施方式

下面结合实施例和说明书附图对本发明做进一步说明，但不限于此。

实施例 1

如图 1 所示。

一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法，由以下系统实现：该系统包括两个蜂窝网络，每个蜂窝网络包括一个基站和 K_i 个用户，其中 i 为基站编号， $i \in M$ ， $M = \{1, 2\}$ ， K_i 表示在基站 i 中有 K_i 个用户，用户 $k \in K_1 \cup K_2$ ，集合 $K_1 = \{1, 2, \dots, K_1\}$ 和 $K_2 = \{1, 2, \dots, K_2\}$ 分别表示两个基站中用户的集合；两个基站共享同一段频谱，并将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波，每个子载波的带宽为 B ；令 $x_{i,k,n}$ 为子载波分配因子，其中， n 表示第 n 个子载波， $n \in N$ ，子载波的集合 $N = \{1, 2, \dots, N\}$ ，当子载波 n 分配给了基站 i 中的第 k 个用户时， $x_{i,k,n} = 1$ ；否则， $x_{i,k,n} = 0$ ，且每个子载波仅能分配给一个用户；将基站 i 中的第 k 个用户在第 n 个子载波上的信道增益表示为 $h_{i,k,n}$ ；在整个网络中，每个基站所需的能量来源于可再生能源、电网以及其他基站所共享的能量，当某个基站所收集到的可再生能源比较充足，而另一个基站所收集到的可再生能源不充足时，则该基站就会向另一个基站共享部分能量，其过程为：该基站首先通知另外一个基站其可以共享的能量的多少，然后另一个基站反过来给出自己的需求量，其次该基站进行升压操作，并将需要共享的能量注入电网之中，与此同时，另一个基站

进行降压操作，从电网中获取共享的能量，以此来降低整个网络购买能源的成本；

具体步骤如下：

1) 计算每个用户的通信速率和：

基站与用户之间通过子载波通信，每个用户在其所分配到的所有子载波上的通信速率和为：

$$r_{i,k,n} = \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{BN_0} \right) \quad (1)$$

其中 $p_{i,k,n}$ 表示基站 i 中第 k 个用户在第 n 子载波上的传输功率， N_0 表示高斯白噪声的功率谱密度；

2) 计算每个基站所消耗的能量

每个基站的能量消耗有三个部分：第一部分是电路消耗 $P_{c,i}$ ；第二部分是发射信号所需要的能量 P_i ，且 $P_i = \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n}$ ；第三部分是基站 i 所共享的能量 e_i ，则基站 i 消耗的总能量：

$$C_i = P_{c,i} + \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + e_i \quad (2)$$

3) 确定优化问题

以整个系统的成本为目标函数，每个子载波的分配情况、每个基站从可再生能源公司所能购买的最大能量、每个用户的通信速率和以及每个基站消耗的总能量为约束条件，构造如下优化问题：

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i \in M} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\ & \text{Subject to: } \sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} = 1 \\ & \quad E_i \leq \bar{E}_i \\ & \quad \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{BN_0} \right) \geq R_{i,k} \\ & \quad \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i \leq E_i + G_i + \eta e_{\bar{i}} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $\bar{i}$ 表示第 $\bar{i}$ 基站, $\bar{i} \in \mathbf{M} \setminus \{i\}$, $\mathbf{M} \setminus \{i\}$ 表示 $\bar{i}$ 属于集合 $\mathbf{M}$ 除去元素 i 之后的集合; γ_i^E 表示可再生能源的单价; γ_i^G 表示电网中的电能的单价; $R_{i,k}$ 表示每个用户所需的最小通信速率; E_i 表示基站 i 购买的可再生能源的量; G_i 表示基站 i 从电网中购买的能量; $e_{\bar{i}}$ 表示基站 $\bar{i}$ 共享给基站 i 的能量; η 表示能量传输效率; $\bar{E}_i$ 表示可再生能源公司所能提供的最大能量; 求解目标函数 $\sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$ 的最小值被称为原问题;

符号 $\min$ 表示最小值符号, 符号 Subject to 表示约束符号, 上述式子表示在对每个子载波的分配限制、每个基站所能从可再生能源公司所购买的最大能量、每个用户的最小通信速率需求以及每个基站消耗的总能量的约束条件下, 求解目标函数 $\sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$ 的最小值; 求解目标函数的最小值被称为原问题;

4) 求解优化问题

所述优化问题中含有整数变量 $x_{i,k,n}$ 和连续型变量, 因此该优化问题是一个混合二进制整数规划问题, 为了让这个问题容易求解, 我们采用放松整数型变量 $x_{i,k,n}$ 的方法, 将整数型变量 $x_{i,k,n}$ 从原来的 0、1 取值放松到 0 到 1, 即 $x_{i,k,n} \in [0,1]$, 此时, 原优化问题由原来的混合二进制整数规划问题变成了一个凸优化问题, 同时, 为了后面表述简单, 我们重新定义一个变量 $s_{i,k,n}$, 且 $s_{i,k,n} = x_{i,k,n} p_{i,k,n}$;

将整数型变量 $x_{i,k,n}$ 从原来的 0、1 取值放松到 0 到 1, 即 $x_{i,k,n} \in [0,1]$, 重新规划原优化问题:

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\
 & \text{Subject to: } E_i \leq \bar{E}_i \\
 & \sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}}{x_{i,k,n} B N_0} \right) \geq R_{i,k} \\
 & \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in \mathbf{N}} s_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i \leq E_i + G_i + \eta e_{\bar{i}} \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} = 1$$

$$s_{i,k,n} \geq 0$$

$$0 \leq x_{i,k,n} \leq 1$$

很容易证明优化问题 (4) 是一个凸问题, 具有唯一的全局最优解, 利用拉格朗日对偶理论, 可以建立最小化问题即原问题与一个最大化问题即对偶问题之间的关系, 因为所研究的原问题具有强对偶性, 因此我们可以通过求解对偶问题来得到原问题的最优解, 为了表达方便, 我们定义符号 Ψ 来代替 E_i , G_i 和 e_i ;

定义符号 Ψ 代替 E_i , G_i 和 e_i , 即 $\Psi = \{E_i, G_i, e_i, i \in M, k \in K_i, n \in N\}$, 则原问题的拉格朗日函数为:

$$\begin{aligned} L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \mathbf{v}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu}) = & \sum_{i \in M} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\ & - \sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K_i} \lambda_{i,k} \left[\sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}}{x_{i,k,n}^* B N_0} \right) - R_{i,k} \right] + \sum_{i=1}^2 \varphi_i (E_i - \bar{E}_i) \\ & + \sum_{i \in M} \mu_i \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} s_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i - E_i - G_i - \eta e_i^- \right] + \sum_{n \in N} v_n \left(1 - \sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

分别定义 $s_{i,k,n}^*$ 和 $x_{i,k,n}^*$ 为变量 $s_{i,k,n}$ 和 $x_{i,k,n}$ 的最优值; 通过应用 KKT 条件, 变量 $s_{i,k,n}$ 和 $x_{i,k,n}$ 取得最优值的充要条件为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial s_{i,k,n}^*} & \begin{cases} = 0, s_{i,k,n}^* > 0 \\ < 0, s_{i,k,n}^* = 0 \end{cases} \\ \frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}^*} & \begin{cases} > 0, x_{i,k,n}^* = 0 \\ = 0, 0 < x_{i,k,n}^* < 1 \\ < 0, x_{i,k,n}^* = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\lambda_{i,k} \left[\sum_{n \in N} x_{i,k,n}^* B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}^*}{x_{i,k,n}^* B N_0} \right) - R_{i,k} \right] = 0$$

原问题的对偶函数为:

$$g(\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) = \min_{\mathbf{p}, \Psi} L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) \quad (7)$$

其中 $\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}$ 分别表示公式 (4) 中前四个约束条件的对偶向量, $\lambda_{i,k}$ 、 φ_i 、 μ_i 、 v_n 分别表示

公式 (4) 中前四个约束条件中每一个约束式所对应的拉格朗日对偶因子, $\lambda_{i,k}$ 、 φ_i 、 μ_i 、 ν_n 分别是对偶向量 λ 、 φ 、 μ 、 ν 中的元素, 对偶函数 (7) 对应的对偶问题表述如下:

$$\max: g(\lambda, \varphi, \mu, \nu) \quad (8)$$

$$\text{Subject to: } \lambda, \varphi, \mu, \nu \geq 0$$

对偶问题 (8) 所求得的最优值即为原问题的最优值;

对偶因子受限于约束条件 $\lambda, \varphi, \mu, \nu \geq 0$, 因此可以通过优化对偶因子 $\lambda, \varphi, \mu, \nu$ 来求解目标函数即对偶函数 $g(\lambda, \varphi, \mu, \nu)$ 的最大值, 由于原问题具有强对偶性, 因此对偶问题 (8) 所求得的最优值即为原问题的最优值。

A) 最优功率分配求解

将原问题的拉格朗日函数对变量 $s_{i,k,n}$ 求偏导, 并且令其偏导等于 0, 即:

$$\frac{\partial L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \mathbf{v}, \lambda, \mu)}{\partial s_{i,k,n}} = 0 \quad (9)$$

求解 (9) 式, 得到基站 i 中的第 k 个用户在第 n 个子载波上的最优传输功率 $p_{i,k,n}^*$:

$$p_{i,k,n}^* = \frac{s_{i,k,n}^*}{x_{i,k,n}^*} = \left[\frac{\lambda_{i,k} B}{\mu_i \ln 2} - \frac{BN_0}{h_{i,k,n}} \right]^+ \quad (10)$$

其中符号 $[\cdot]^+$ 表示 $[\cdot]$ 中的部分取非负值;

B) 最优子载波分配求解

将原问题的拉格朗日函数对变量 $x_{i,k,n}$ 求偏导, 即:

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}} = \lambda_{i,k} \left[\frac{s_{i,k,n} h_{i,k,n}}{(x_{i,k,n} BN_0 + s_{i,k,n} h_{i,k,n}) \ln 2} - B \log_2 \left(1 + \frac{s_{i,k,n} h_{i,k,n}}{x_{i,k,n} BN_0} \right) \right] - \nu_n \quad (11)$$

将式 (10) 代入式 (11), 并应用 KKT 条件得到:

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}} = H_{i,k,n} - \nu_n \quad (12)$$

其中,

$$H_{i,k,n} = \lambda_{i,k} B \left[\frac{1}{\ln 2} - \frac{\mu_i N_0}{\lambda_{i,k} h_{i,k,n}} - \log_2 \frac{\lambda_{i,k} h_{i,k,n}}{\mu_i N_0 \ln 2} \right] \quad (13)$$

应用充要条件（6）中的第二个条件可得：

$$x_{i,k,n}^* = \begin{cases} = 0, & H_{i,k,n} > v_n \\ = 1, & H_{i,k,n} < v_n \end{cases} \quad (14)$$

由问题（4）中的第四个约束条件可知，子载波的分配问题被分解为 N 个独立的问题，对于每一个子载波而言，如果 $H_{i,k,n}$ 均不相同，那么将仅有一个用户在使用该子载波的时候，其 $H_{i,k,n}$ 将最小，换言之， $H_{i,k,n}$ 最小的用户将会被分配到该子载波；

$H_{i,k,n}$ 最小的用户被分配到第 n 个子载波，即：

$$x_{i,k^*,n}^* = 1, x_{i,k,n}^* = 0, \forall k \neq k^*, \quad k^* = \arg \min_k H_{i,k,n} \quad (15)$$

其中，符号 $\arg \min_k []$ 表示求使得 $[]$ 内的部分取最小值时 k 的取值；

C) 最优能量管理求解

至此已经求出最优的发射功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$ ，下一步求解最优的 E_i^* ， G_i^* 和 e_i^* ，为了降低整个网络的能量购买成本，我们优先购买可再生能源，因为可再生能源的价格比传统电网的电价价格低，此外，能量共享的原则是：当某一个基站可以购买的可再生能源比其所需求的多，而另一个基站所能购买的可再生能源不够其需求，此时该基站就会向另一个基站共享部分能量，以此来进一步降低网络的成本，换言之，当两个基站所能购买的可再生能源均不够其需求或者均能满足其需求时，此时两个基站将不会共享其能量给其他基站，因此我们可以根据两个基站所共享的能量是否为零，将 E_i^* ， G_i^* 和 e_i^* 的求解问题采用分类讨论的思想进行求解：

情形一、最优的共享能量为 0，即：

$$e_i^* = 0 \quad (16)$$

定义能量消耗变量 $E_c^{(i)}$ ， $E_c^{(i)}$ 表示基站 i 的电路消耗和信号传输消耗，且 $E_c^{(i)} = \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in S_{i,k}} p_{i,k,n} + P_{c,i}$ ，根据优先购买可再生能源的原则，进一步求出最优的 E_i^* 和 G_i^* ，即：

$$E_i^* = \min(E_c^{(i)}, \bar{E}_i) \quad (17)$$

$$G_i^* = \max(E_c^{(i)} - \bar{E}_i, 0) \quad (18)$$

情形二、最优的共享能量不为 0：两个基站中有一个基站所能购买的可再生能源比较充足，而另一个基站所能购买的可再生能源不充足，此时我们假设基站 i 所能购买可再生能源是充足的，而基站 $\bar{i}$ 所能购买的可再生能源不充足，即： $E_c^{(i)} \leq \bar{E}_i$ 且 $E_c^{(\bar{i})} > \bar{E}_{\bar{i}}$ ；

设 $E_c^{(i)} \leq \bar{E}_i$ 且 $E_c^{(\bar{i})} > \bar{E}_{\bar{i}}$ ，由此可知，基站 i 不需要从电网中购买能量，即：

$$G_i^* = 0 \quad (19)$$

根据能量共享的原则可知基站 $\bar{i}$ 不需要共享能量，即：

$$e_{\bar{i}}^* = 0 \quad (20)$$

由于可再生能源的价格比传统电网的电价的价格要低，因此基站应该优先购买可再生能源，则基站 $\bar{i}$ 应该购买其所能购买到的所有的可再生能源；

基站 $\bar{i}$ 购买其所能购买到的所有的可再生能源，即：

$$E_{\bar{i}}^* = \bar{E}_{\bar{i}} \quad (21)$$

对于基站 i 所能购买到的可再生能源，基站 i 在满足自身的能量需求外，其过剩的可再生能源将会共享给基站 $\bar{i}$ ，但是，基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量有两种可能性，即：基站 i 共享的能量能够满足基站 $\bar{i}$ 或者不能够满足基站 $\bar{i}$ 的需求，我们考虑共享的能量在传输过程中的损耗 η ；

情形 a)、基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量满足基站 $\bar{i}$ 的需求，即 $\eta(\bar{E}_i - E_c^{(i)}) \geq E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}$ ，此时基站 i 共享的最优能量为：

$$e_i^* = (E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}) / \eta \quad (22)$$

基站 i 所购买可再生能源为其自身消耗的能量 $E_c^{(i)}$ 以及其共享给基站 $\bar{i}$ 的能量 e_i^* ，即基站 i 需要购买的可再生能源的能量为：

$$E_i^* = E_c^{(i)} + e_i^* \quad (23)$$

由于基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量能够满足基站 $\bar{i}$ 的需求，因此基站 $\bar{i}$ 不需要从电网中购买能量，即：

$$G_{\bar{i}}^* = 0 \quad (24)$$

情形 b)、基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量不能满足基站 $\bar{i}$ 的需求，即 $\eta(\bar{E}_i - E_c^{(i)}) < E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}$ ，则此时基站 i 应该购买所有的可再生资源，即：

$$E_i^* = \bar{E}_i \quad (25)$$

并且, 基站 i 应该将在满足自身能量需求之外所剩余的可再生能源全部共享给基站 $\bar{i}$, 即基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的最优能量为:

$$e_i^* = E_i^* - E_c^{(i)} \quad (26)$$

在基站 $\bar{i}$ 接收了基站 i 共享的能量之后, 基站 $\bar{i}$ 还缺少的能量由基站 $\bar{i}$ 自身向电网购买, 即基站 $\bar{i}$ 向电网购买的能量为:

$$G_{\bar{i}}^* = E_c^{(\bar{i})} - E_{\bar{i}}^* - \eta e_i^* \quad (27);$$

式 (10) 和式 (15) 中含有拉格朗日对偶因子 $\lambda_{i,k}$ 和 μ_i , 当它们取到最优时, 最优的发射功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$, 以及最优的能量管理 E_i^* , G_i^* 和 e_i^* 也取到了最优值。拉格朗日对偶因子最优值的求解可以通过子梯度迭代算法求解;

拉格朗日对偶因子最优值的具体求解过程如下:

a) 设初始迭代次数 $t=0$, 设每个用户的最小通信速率, 初始化对偶因子集合初始值 $\lambda(0)$, $\mu(0)$ 为非负实数;

b) 当迭代次数为 t 时, 用 $\lambda(t)$, $\mu(t)$ 表示当前更新的拉格朗日对偶因子, 将对偶因子集合 $\lambda(t)$ 、 $\mu(t)$ 代入公式 (10) 和 (15) 中得到对应的最优信号传输功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$, 然后根据式 (16) - (27) 计算出最优的能量管理 E_i^* , G_i^* 和 e_i^* ;

c) 采用以下公式分别更新 2 种拉格朗日对偶因子:

$$\lambda_{i,k}(t+1) = \left[\lambda_{i,k}(t) + s_- \lambda(t) \left[R_{i,k} - \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{B N_0} \right) \right] \right]^+$$

$$\mu_i(t+1) = \left[\mu_i(t) + s_- \mu(t) \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i - E_i - G_i - \eta e_{\bar{i}} \right] \right]^+$$

其中, $s_- \lambda(t)$ 和 $s_- \mu(t)$ 分别表示相应的拉格朗日对偶因子对应的迭代步长, t 表示迭代次数;

d) 令 $\lambda^* = \lambda(t+1)$, $\mu^* = \mu(t+1)$, 若 λ^* 和 μ^* 满足预定义的数据精度, 则输出最优对偶因子集合 λ^* 和 μ^* , 否则, 令 $t = t+1$, 跳转至步骤 b), 继续迭代, 直到满足预定义的数据精度;

5) 计算基站与每个用户通信时的最优发射功率, 最优子载波分配以及最优能量管理;

将得到的最优拉格朗日因子最优集合 λ^* 和 μ^* 代入式(10) - (27)中,即可得到在满足每个用户的最低通信速率的条件之下的最优资源分配和能量管理。

实施例 2

如实施例 1 所述的协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法,所不同的是,所述用户为单天线用户;所述子载波为正交窄带子载波。

实施例 3

如实施例 1 所述的协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法,所不同的是,将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波的方法为,采用正交频分复用调制技术将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波。

权利要求书

1、一种协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法，由以下系统实现：该系统包括两个蜂窝网络，每个蜂窝网络包括一个基站和 K_i 个用户，其中 i 为基站编号， $i \in M$ ， $M = \{1, 2\}$ ， K_i 表示在基站 i 中有 K_i 个用户，用户 $k \in K_1 \cup K_2$ ，集合 $K_1 = \{1, 2, \dots, K_1\}$ 和 $K_2 = \{1, 2, \dots, K_2\}$ 分别表示两个基站中用户的集合；两个基站共享同一段频谱，并将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波，每个子载波的带宽为 B ；令 $x_{i,k,n}$ 为子载波分配因子，其中， n 表示第 n 个子载波， $n \in N$ ，子载波的集合 $N = \{1, 2, \dots, N\}$ ，当子载波 n 分配给了基站 i 中的第 k 个用户时， $x_{i,k,n} = 1$ ；否则， $x_{i,k,n} = 0$ ，且每个子载波仅能分配给一个用户；将基站 i 中的第 k 个用户在第 n 个子载波上的信道增益表示为 $h_{i,k,n}$ ；其特征在于，具体步骤如下：

1) 计算每个用户的通信速率和：

基站与用户之间通过子载波通信，每个用户在其所分配到的所有子载波上的通信速率和为：

$$r_{i,k,n} = \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{BN_0} \right) \quad (1)$$

其中 $p_{i,k,n}$ 表示基站 i 中第 k 个用户在第 n 子载波上的传输功率， N_0 表示高斯白噪声的功率谱密度；

2) 计算每个基站所消耗的能量

每个基站的能量消耗有三个部分：第一部分是电路消耗 $P_{c,i}$ ；第二部分是发射信号所需要的能量 P_i ，且 $P_i = \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n}$ ；第三部分是基站 i 所共享的能量 e_i ，则基站 i 消耗的总能量：

$$C_i = P_{c,i} + \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + e_i \quad (2)$$

3) 确定优化问题

以整个系统的成本为目标函数，每个子载波的分配情况、每个基站从可再生能源公司所能购买的最大能量、每个用户的通信速率和以及每个基站消耗的总能量为约束条件，构造如下优化问题：

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\
& \text{Subject to: } \sum_{i \in \mathbf{M}} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} = 1 \\
& E_i \leq \bar{E}_i \\
& \sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{B N_0} \right) \geq R_{i,k} \\
& \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i \leq E_i + G_i + \eta e_{\bar{i}}
\end{aligned} \tag{3}$$

其中, $\bar{i}$ 表示第 $\bar{i}$ 基站, $\bar{i} \in \mathbf{M} \setminus \{i\}$, $\mathbf{M} \setminus \{i\}$ 表示 $\bar{i}$ 属于集合 $\mathbf{M}$ 除去元素 i 之后的集合; γ_i^E 表示可再生能源的单价; γ_i^G 表示电网中的电能的单价; $R_{i,k}$ 表示每个用户所需的最小通信速率; E_i 表示基站 i 购买的可再生能源的量; G_i 表示基站 i 从电网中购买的能量; $e_{\bar{i}}$ 表示基站 $\bar{i}$ 共享给基站 i 的能量; η 表示能量传输效率; $\bar{E}_i$ 表示可再生能源公司所能提供的最大能量; 求解目标函数 $\sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i)$ 的最小值被称为原问题;

4) 求解优化问题

将整数型变量 $x_{i,k,n}$ 从原来的 0、1 取值放松到 0 到 1, 即 $x_{i,k,n} \in [0, 1]$, 重新规划原优化问题:

$$\begin{aligned}
& \min \sum_{i \in \mathbf{M}} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\
& \text{Subject to: } E_i \leq \bar{E}_i \\
& \sum_{n \in \mathbf{N}} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}}{x_{i,k,n} B N_0} \right) \geq R_{i,k} \\
& \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in \mathbf{N}} s_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i \leq E_i + G_i + \eta e_{\bar{i}} \\
& \sum_{i \in \mathbf{M}} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} = 1 \\
& s_{i,k,n} \geq 0
\end{aligned} \tag{4}$$

$$0 \leq x_{i,k,n} \leq 1$$

定义符号 Ψ 代替 E_i , G_i 和 e_i , 即 $\Psi = \{E_i, G_i, e_i, i \in M, k \in K_i, n \in N\}$, 则原问题的拉格朗日函数为:

$$\begin{aligned} L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \mathbf{v}, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\mu}) = & \sum_{i \in M} (\gamma_i^E E_i + \gamma_i^G G_i) \\ & - \sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K_i} \lambda_{i,k} \left[\sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}}{x_{i,k,n} B N_0} \right) - R_{i,k} \right] + \sum_{i=1}^2 \phi_i (E_i - \bar{E}_i) \\ & + \sum_{i \in M} \mu_i \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} s_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i - E_i - G_i - \eta e_i \right] + \sum_{n \in N} v_n \left(1 - \sum_{i \in M} \sum_{k=1}^{K_i} x_{i,k,n} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

分别定义 $s_{i,k,n}^*$ 和 $x_{i,k,n}^*$ 为变量 $s_{i,k,n}$ 和 $x_{i,k,n}$ 的最优值; 通过应用 KKT 条件, 变量 $s_{i,k,n}$ 和 $x_{i,k,n}$ 取得最优值的充要条件为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial s_{i,k,n}^*} & \begin{cases} = 0, s_{i,k,n}^* > 0 \\ < 0, s_{i,k,n}^* = 0 \end{cases} \\ \frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}^*} & \begin{cases} > 0, x_{i,k,n}^* = 0 \\ = 0, 0 < x_{i,k,n}^* < 1 \\ < 0, x_{i,k,n}^* = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\lambda_{i,k} \left[\sum_{n \in N} x_{i,k,n}^* B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} s_{i,k,n}^*}{x_{i,k,n}^* B N_0} \right) - R_{i,k} \right] = 0$$

原问题的对偶函数为:

$$g(\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) = \min_{\mathbf{p}, \Psi} L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) \quad (7)$$

其中 $\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}$ 分别表示公式 (4) 中前四个约束条件的对偶向量, $\lambda_{i,k}$ 、 ϕ_i 、 μ_i 、 v_n 分别表示公式 (4) 中前四个约束条件中每一个约束式所对应的拉格朗日对偶因子, $\lambda_{i,k}$ 、 ϕ_i 、 μ_i 、 v_n 分别是对偶向量 $\boldsymbol{\lambda}$ 、 $\boldsymbol{\phi}$ 、 $\boldsymbol{\mu}$ 、 $\mathbf{v}$ 中的元素, 对偶函数 (7) 对应的对偶问题表述如下:

$$\max: g(\boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v}) \quad (8)$$

$$\text{Subject to: } \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\phi}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{v} \geq 0$$

对偶问题 (8) 所求得的最优值即为原问题的最优值;

A) 最优功率分配求解

将原问题的拉格朗日函数对变量 $s_{i,k,n}$ 求偏导，并且令其偏导等于 0，即：

$$\frac{\partial L(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \Psi, \mathbf{v}, \lambda, \mu)}{\partial s_{i,k,n}} = 0 \quad (9)$$

求解 (9) 式，得到基站 i 中的第 k 个用户在第 n 个子载波上的最优传输功率 $p_{i,k,n}^*$ ：

$$p_{i,k,n}^* = \frac{s_{i,k,n}^*}{x_{i,k,n}^*} = \left[\frac{\lambda_{i,k} B}{\mu_i \ln 2} - \frac{BN_0}{h_{i,k,n}} \right]^+ \quad (10)$$

其中符号 $[\cdot]^+$ 表示 $[\cdot]$ 中的部分取非负值；

B) 最优子载波分配求解

将原问题的拉格朗日函数对变量 $x_{i,k,n}$ 求偏导，即：

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}} = \lambda_{i,k} \left[\frac{s_{i,k,n} h_{i,k,n}}{(x_{i,k,n} BN_0 + s_{i,k,n} h_{i,k,n}) \ln 2} - B \log_2 \left(1 + \frac{s_{i,k,n} h_{i,k,n}}{x_{i,k,n} BN_0} \right) \right] - v_n \quad (11)$$

将式 (10) 代入式 (11)，并应用 KKT 条件得到：

$$\frac{\partial L}{\partial x_{i,k,n}} = H_{i,k,n} - v_n \quad (12)$$

其中，

$$H_{i,k,n} = \lambda_{i,k} B \left[\frac{1}{\ln 2} - \frac{\mu_i N_0}{\lambda_{i,k} h_{i,k,n}} - \log_2 \frac{\lambda_{i,k} h_{i,k,n}}{\mu_i N_0 \ln 2} \right] \quad (13)$$

应用充要条件 (6) 中的第二个条件可得：

$$x_{i,k,n}^* = \begin{cases} = 0, & H_{i,k,n} > v_n \\ = 1, & H_{i,k,n} < v_n \end{cases} \quad (14)$$

$H_{i,k,n}$ 最小的用户被分配到第 n 个子载波，即：

$$x_{i,k^*,n}^* = 1, x_{i,k,n}^* = 0, \forall k \neq k^*, \quad k^* = \arg \min_k H_{i,k,n} \quad (15)$$

其中，符号 $\arg \min_k [\cdot]$ 表示求使得 $[\cdot]$ 内的部分取最小值时 k 的取值；

C) 最优能量管理求解

情形一、最优的共享能量为 0，即：

$$e_i^* = 0 \quad (16)$$

定义能量消耗变量 $E_c^{(i)}$ ， $E_c^{(i)}$ 表示基站 i 的电路消耗和信号传输消耗，且 $E_c^{(i)} = \sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in S_{i,k}} p_{i,k,n} + P_{c,i}$ ，根据优先购买可再生能源的原则，进一步求出最优的 E_i^* 和 G_i^* ，即：

$$E_i^* = \min(E_c^{(i)}, \bar{E}_i) \quad (17)$$

$$G_i^* = \max(E_c^{(i)} - \bar{E}_i, 0) \quad (18)$$

情形二、最优的共享能量不为 0：

设 $E_c^{(i)} \leq \bar{E}_i$ 且 $E_c^{(\bar{i})} > \bar{E}_{\bar{i}}$ ，由此可知，基站 i 不需要从电网中购买能量，即：

$$G_i^* = 0 \quad (19)$$

根据能量共享的原则可知基站 $\bar{i}$ 不需要共享能量，即：

$$e_{\bar{i}}^* = 0 \quad (20)$$

基站 $\bar{i}$ 购买其所能购买到的所有的可再生能源，即：

$$E_{\bar{i}}^* = \bar{E}_{\bar{i}} \quad (21)$$

情形 a)、基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量满足基站 $\bar{i}$ 的需求，即 $\eta(\bar{E}_i - E_c^{(i)}) \geq E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}$ ，此时基站 i 共享的最优能量为：

$$e_i^* = (E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}) / \eta \quad (22)$$

基站 i 所购买可再生能源为其自身消耗的能量 $E_c^{(i)}$ 以及其共享给基站 $\bar{i}$ 的能量 e_i^* ，即基站 i 需要购买的可再生能源的能量为：

$$E_i^* = E_c^{(i)} + e_i^* \quad (23)$$

由于基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量能够满足基站 $\bar{i}$ 的需求，因此基站 $\bar{i}$ 不需要从电网中购买能量，即：

$$G_{\bar{i}}^* = 0 \quad (24)$$

情形 b)、基站 i 共享给基站 $\bar{i}$ 的能量不能满足基站 $\bar{i}$ 的需求，即 $\eta(\bar{E}_i - E_c^{(i)}) < E_c^{(\bar{i})} - \bar{E}_{\bar{i}}$ ，则此时基站 i 应该购买所有的可再生资源，即：

$$E_i^* = \bar{E}_i \quad (25)$$

并且，基站 i 应该将在满足自身能量需求之外所剩余的可再生能源全部共享给基站 $\bar{i}$ ，即基站

i 共享给基站 $\bar{i}$ 的最优能量为:

$$e_i^* = E_i^* - E_c^{(i)} \quad (26)$$

在基站 $\bar{i}$ 接收了基站 i 共享的能量之后, 基站 $\bar{i}$ 还缺少的能量由基站 $\bar{i}$ 自身向电网购买, 即基站 $\bar{i}$ 向电网购买的能量为:

$$G_{\bar{i}}^* = E_c^{(\bar{i})} - E_{\bar{i}}^* - \eta e_i^* \quad (27);$$

拉格朗日对偶因子最优值的具体求解过程如下:

a) 设初始迭代次数 $t=0$, 设每个用户的最小通信速率, 初始化对偶因子集合初始值 $\lambda(0)$, $\mu(0)$ 为非负实数;

b) 当迭代次数为 t 时, 用 $\lambda(t)$, $\mu(t)$ 表示当前更新的拉格朗日对偶因子, 将对偶因子集合 $\lambda(t)$ 、 $\mu(t)$ 代入公式(10)和(15)中得到对应的最优信号传输功率 $p_{i,k,n}^*$ 和最优子载波分配 $x_{i,k,n}^*$, 然后根据式(16) - (27) 计算出最优的能量管理 E_i^* , G_i^* 和 e_i^* ;

c) 采用以下公式分别更新 2 种拉格朗日对偶因子:

$$\lambda_{i,k}(t+1) = \left[\lambda_{i,k}(t) + s_- \lambda(t) \left[R_{i,k} - \sum_{n \in N} x_{i,k,n} B \log_2 \left(1 + \frac{h_{i,k,n} p_{i,k,n}}{BN_0} \right) \right] \right]^+$$

$$\mu_i(t+1) = \left[\mu_i(t) + s_- \mu(t) \left[\sum_{k=1}^{K_i} \sum_{n \in N} x_{i,k,n} p_{i,k,n} + P_{c,i} + e_i - E_i - G_i - \eta e_{\bar{i}} \right] \right]^+$$

其中, $s_- \lambda(t)$ 和 $s_- \mu(t)$ 分别表示相应的拉格朗日对偶因子对应的迭代步长, t 表示迭代次数;

d) 令 $\lambda^* = \lambda(t+1)$, $\mu^* = \mu(t+1)$, 若 λ^* 和 μ^* 满足预定义的数据精度, 则输出最优对偶因子集合 λ^* 和 μ^* , 否则, 令 $t = t+1$, 跳转至步骤 b), 继续迭代, 直到满足预定义的数据精度;

5) 计算基站与每个用户通信时的最优发射功率, 最优子载波分配以及最优能量管理;

将得到的最优拉格朗日因子最优集合 λ^* 和 μ^* 代入式(10) - (27) 中, 即可得到在满足每个用户的最低通信速率的条件之下的最优资源分配和能量管理。

2、根据权利要求 1 所述的协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法, 其特征在于, 所述用户为单天线用户; 所述子载波为正交窄带子载波。

3、根据权利要求 1 所述的协作蜂窝网络的资源分配和能量管理方法, 其特征在于, 将整个授权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波的方法为, 采用正交频分复用调制技术将整个授

权的频带等分成 N 个带宽相同的子载波。

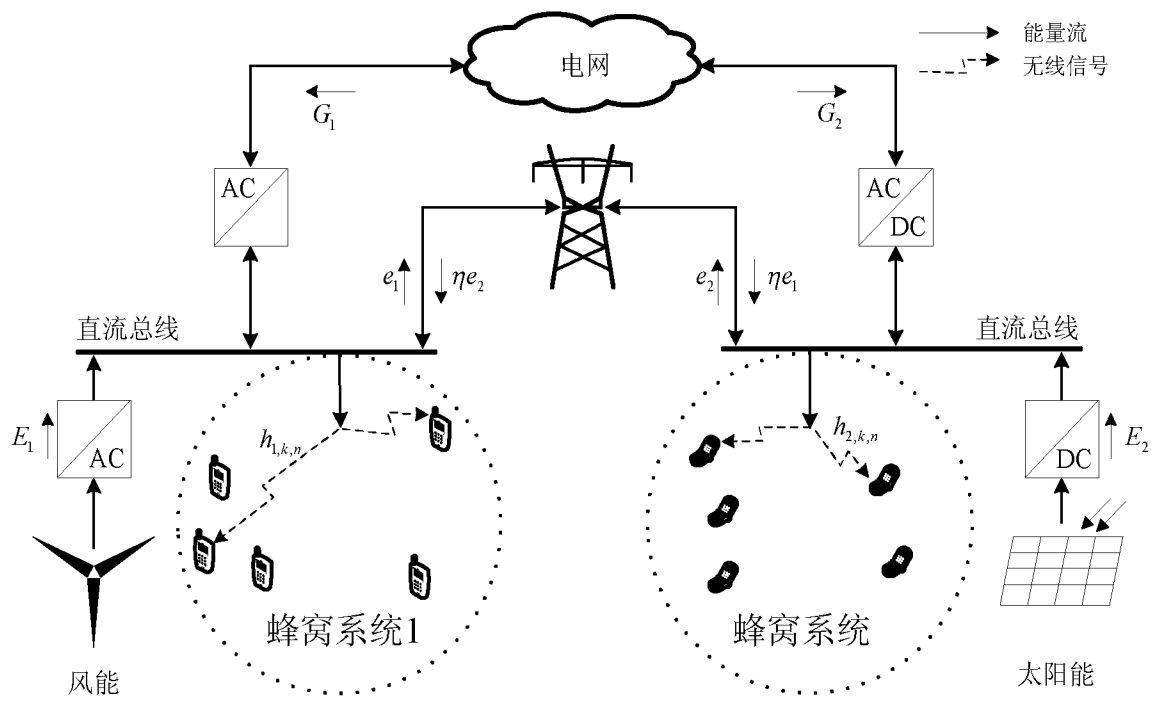


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/102745

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04W 72/04 (2009.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04W 72/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNXTX; CNABS; CNKI: 频谱, 拉格朗日, 分配, 功率, 网络, 协作, 充要条件, 联合, 匹配, 子载波, 频带, 共享, 对偶 VEN;
WOTXT; EPTXT; USTXT: frequency, lagrange, power, kkt, subcarrier?, share

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106604400 A (SHANDONG UNIVERSITY), 26 April 2017 (26.04.2017), claims 1-3	1-3
A	CN 106255194 A (SHANDONG UNIVERSITY), 21 December 2016 (21.12.2016), description, paragraphs [0087]-[0161]	1-3
A	CN 101192850 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.), 04 June 2008 (04.06.2008), entire document	1-3
A	US 2008219364 A1 (THE HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY), 11 September 2008 (11.09.2008), entire document	1-3
A	胡首都等, “一种公平的认知无线电系统下行频谱分配策略”, 计算机工程与应用, 48(9), 25 July 2011 (25.07.2011), ISSN: 1002-8331, entire document, (HU, Shoudu et al., “Downlink Spectrum Allocation Strategy for Cognitive Radio System with Fairness Consideration”, Computer Engineering and Applications)	1-3
A	卢前溪等, “认知无线网络上行链路子载波和功率分配”, 吉林大学学报(工学版), 40(4), 31 July 2010 (31.07.2010), ISSN: 1671-5497, entire document, (LU, Qianxi et al., “Subcarrier and Power Allocation Algorithm in Uplink of Cognitive Radio Networks”, Journal of Jilin University Engineering and Technology Edition)	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 27 October 2017	Date of mailing of the international search report 09 November 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WU, Jiangxia Telephone No. (86-10) 62412034

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/102745

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106604400 A	26 April 2017	None	
CN 106255194 A	21 December 2016	CN 106255194	21 December 2016
CN 101192850 A	04 June 2008	US 9258790 B2	09 February 2016
		US 2008123776 A1	29 May 2008
		EP 1926272 A1	28 May 2008
		CN 101326734 B	04 December 2013
		CN 101192850 B	06 July 2011
		CN 101326734 A	17 December 2008
		EP 1926272 B1	03 October 2012
		WO 2008064607 A1	05 June 2008
US 2008219364 A1	11 September 2008	EP 2132958 A2	16 December 2009
		EP 2132958 A4	11 May 2011
		WO 2009019608 A4	17 September 2009
		KR 20100015451 A	12 February 2010
		WO 2009019608 A3	04 June 2009
		WO 2009019608 A2	12 February 2009

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/102745

A. 主题的分类

H04W 72/04(2009.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H04W72/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTXT;CNABS;CNKI:频谱, 拉格朗日, 分配, 功率, 网络, 协作, 充要条件, 联合, 匹配, 子载波, 频带, 共享, 对偶 VEN;WOTXT;EPTXT;USTXT: frequency, lagrange, power, kkt, sub-carrier?, share

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 106604400 A (山东大学) 2017年 4月 26日 (2017 - 04 - 26) 权利要求1-3	1-3
A	CN 106255194 A (山东大学) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21) 说明书第[0087]-[0161]段	1-3
A	CN 101192850 A (华为技术有限公司) 2008年 6月 4日 (2008 - 06 - 04) 全文	1-3
A	US 2008219364 A1 (港科技大) 2008年 9月 11日 (2008 - 09 - 11) 全文	1-3
A	胡首都等. "一种公平的认知无线电系统下行频谱分配策略" 计算机工程与应用, 第48卷, 第9期, 2011年 7月 25日 (2011 - 07 - 25), ISSN: 1002-8331, 全文	1-3
A	卢前溪等. "认知无线网络上行链路子载波和功率分配" 吉林大学学报(工学版), 第40卷, 第4期, 2010年 7月 31日 (2010 - 07 - 31), ISSN: 1671-5497, 全文	1-3

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2017年 10月 27日

国际检索报告邮寄日期

2017年 11月 9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

吴江霞

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)62412034

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/102745

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	106604400	A	2017年 4月 26日	无			
CN	106255194	A	2016年 12月 21日	CN	106255194		2016年 12月 21日
CN	101192850	A	2008年 6月 4日	US	9258790	B2	2016年 2月 9日
				US	2008123776	A1	2008年 5月 29日
				EP	1926272	A1	2008年 5月 28日
				CN	101326734	B	2013年 12月 4日
				CN	101192850	B	2011年 7月 6日
				CN	101326734	A	2008年 12月 17日
				EP	1926272	B1	2012年 10月 3日
				WO	2008064607	A1	2008年 6月 5日
US	2008219364	A1	2008年 9月 11日	EP	2132958	A2	2009年 12月 16日
				EP	2132958	A4	2011年 5月 11日
				WO	2009019608	A4	2009年 9月 17日
				KR	20100015451	A	2010年 2月 12日
				WO	2009019608	A3	2009年 6月 4日
				WO	2009019608	A2	2009年 2月 12日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)