(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
2020 年 9 月 17 日 (17.09.2020)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2020/181597 A1

(51) 国际专利分类号:
H04W 4/70 (2018.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/081475

(22) 国际申请日: 2019 年 4 月 4 日 (04.04.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201910194046.4 2019年3月14日 (14.03.2019) CN

(71) 申请人: 西 安 交 通 大 学 (**XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。

(72) 发明人: 王熠晨 (**WANG, Yichen**); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。 杨子欢 (**YANG, Zihuan**); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。 王璐 (**WANG, Lu**); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。 王弢 (**WANG, Tao**); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。 李壮 (**LI, Zhuang**); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。

(74) 代理人: 西安通大专利代理有限责任公司 (**XI'AN TONG DA PATENT AGENCY CO., LTD.**); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (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, 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,

(54) **Title:** GROUPING-BASED RANDOM ACCESS AND DATA TRANSMISSION METHOD IN LARGE-SCALE MTC NETWORK

(54) 发明名称: 大规模MTC网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法

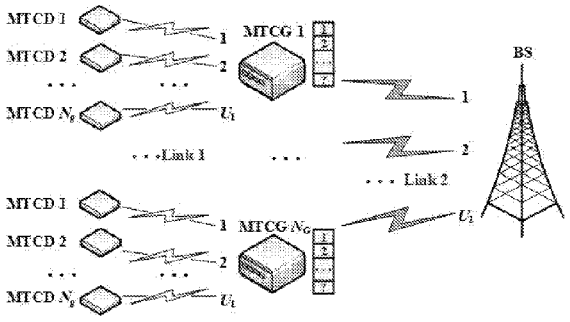


图 1

(57) **Abstract:** Disclosed are a grouping-based random access and data transmission method in a large-scale MTC network. In an mMTC network, data transmission resources are divided into link 1 and link 2; an MTCD sends, by means of link 1, a data packet to a gateway; the gateway receives the data packet according to a cache margin; the gateway, the cache of which reaches a threshold value, uses a contention-based four-step handshake process to compete for access to a base station; and the gateway successfully accessing the base station transmits, on an allocated uplink channel and by means of link 2, an aggregated data packet to the base station at a higher rate. The number of gateways for initiating access requests is derived when a system is in a steady state, and an expression of the throughput of the system is obtained by means of analysis. A throughput optimization problem is constructed by means of taking the maximum throughput as a target and combining constraint conditions, such as a resource allocation ratio and a gateway forwarding threshold value, and an optimal resource allocation ratio and an optimal gateway forwarding threshold value are solved by means of a differential evolution algorithm. The present invention effectively improves the throughput of a system, and reduces access delays.

WO 2020/181597 A1

[见续页]

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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开了大规模MTC网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，在mMTC网络中，数据传输的资源分为链路1与链路2，MTCD通过链路1将数据包发送给网关，网关根据缓存余量接收数据包，缓存达到阈值的网关采用基于竞争的四步握手过程竞争接入基站，成功接入基站的网关将聚合的数据包通过链路2在分配的上行信道上以较高的速率传输给基站。推导出系统稳态时发起接入请求的网关数量，分析得到系统吞吐量的表达式。以最大化吞吐量为目标，结合资源分配比及网关转发阈值等约束条件构造了吞吐量优化问题，差分演化算法求出最优的资源分配比及网关转发阈值。本发明有效地提高系统吞吐量，降低接入时延。

大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法

技术领域

本发明属于大规模 MTC 网络中的随机接入与数据传输技术，具体涉及大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方案的实现。

背景技术

作为开启智能时代的关键环节，物联网已经逐步深入到社会各个领域，机器类通信设备（machine-type communication device，MTCD）的数量也在不断增长，大规模机器类通信（massive machine-type communication， mMTC）随之成为了 5G 的主要通信场景之一。为了便于广泛实施机器类通信，mMTC 主要部署在蜂窝网络中。然而，传统蜂窝网络是为 H2H 设计的，mMTC 由于其自身的特点会产生一系列问题：首先，MTCD 数量庞大，而用于接入的前导码数量较少，海量 MTCD 在较短时间内向基站发起接入请求，会造成较多的接入碰撞，从而导致严重的网络拥塞，使得大量设备不能及时传输数据；其次，mMTC 中通信数据总量较大但单个设备的数据包较小，采用传统的四步握手过程会造成较大的信令开销；最后，大多 MTCD 的传输速率较小，而无线资源有限，由 MTCD 直接向基站传输数据会大大降低资源利用率，且 MTCD 本身传输速率并不适用于 5G 的高速传输特性。 因此，我们急需从 MTC 本身特点出发，对现有蜂窝网络进行优化与改进。一些方案从 ACB 机制出发做以改进，缓解了网络拥塞问题；一些方案针对资源的合理分配及使用加以研究，提升了资源利用率；还有一些方案对设备进行分组，引入网关，设计双跳网络来提升系统性能。其中，大多数分组方案并没有详细的说明由设备到网关这一通信链路的资源使用情况，只是指出采用某种通信方式。一些研究引入了网关转发阈值这一概念，通过编程仿真表明网关转发阈值对系统性能的影响，但是没有进一步将网关转发阈值这一概念代入到理论分析中，进行解析推导，从理论上分析网关转发阈值对系统性能的影响。

发明内容

本发明的目的在于克服上述现有技术不足，提供中大规模MTC网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，考虑到网关转发阈值对于分组双跳 mMTC 网络系统的影响，设计基于分组的随机接入与数据传输方案，并联合考虑双跳链路的资源分配比及网关转发阈值，对系统进行分析与优化，从而进一步提升网络性能。

本发明的技术方案是这样解决的：包括以下步骤：

（1）在 mMTC 网络中，引入 MTC 网关 MTCG，让每个网关管理若干个设备，分别对应于一个 MTCD 组，将用于数据传输的资源按照修正差分演化算法所求的最优资源分配比β^*分为 2 部分：即链路 1 与链路 2，将链路 1 中的资源均分给每组，每组的资源按照 MTCD 传输一个数据包所需的资源块数划分为U_1个信道，根据修正差分演化算法所求的最优转发阈值γ^*及网关转发一个数据包所需的资源块数将链路 2 划分为U_2个信道；

（2）MTC 网关向组内激活设备广播类 ACB 因子，激活设备进行类 ACB 检测，通过类 ACB 检测的组内设备在U_1个正交信道中随机选择一个信道将数据包传输给相应的 MTC 网关；

（3）MTCG 检测U_1个正交信道，其中只有某个信道被一个设备选择时，MTCG 才能正确检测出对应的数据包，对于检测失败的数据包其对应设备进行均匀退避；

（4）网关根据缓存余量接收成功检测的数据包，若缓存余量大于等于检测成功的数据包数，则所有检测成功的数据包被网关成功接收并存储在缓存队列中，否则网关根据缓存余量大小在检测成功的数据包中随机选择若干个并存储在缓存队列中，使得缓存队列长度达到最优转发阈值γ^*；

（5）缓存队列长度达到最优转发阈值γ^*的 MTCG 向 BS 发起接入请求，通过基于竞争的随机接入四消息握手过程接入基站，接入成功的 MTCG 进行下一步，接入失败的 MTCG 在下一个随机接入机会再次发起接入请求；

（6）基站根据链路 2 的正交信道数随机选择接入成功的 MTCG 并分配信道供网关转发缓存中的数据包，若U_2大于等于接入成功的 MTCG 数，则所有接入成功的 MTCG 都可以成功转发数据包，

否则基站在这些 MTCG 中随机选择U_2个并分配信道供相应网关在链路 2 中转发数据包，未获得链路 2 信道的 MTCG 在下一个随机接入机会再次发起接入请求。

所述步骤（1）中最优资源分配比β^*和最优转发阈值γ^*，首先通过马尔可夫理论分析出网关缓存队列长度的状态转移概率矩阵，对网关缓存占有量的变化过程进行数学建模，得到每一个随机接入机会中发起接入请求的网关数，即$N_{G,\gamma}=N_G\left[\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+\pi_\gamma\right]$，$\pi_i(i=0,1,\ldots\gamma)$表示系统达到平稳状态时网关缓存大小在每一 RAO 结束时刻为 i 的概率，N_G表示网关数，$P_{G,i}$（$i=0,1,2,\ldots,U_1$）表示一个 MTCG 在一个 RAO 成功检测 i（$i=0,1,2,\ldots,U_1$）个包的概率，从而得到每一个随机接入机会的吞吐量，即$T(\beta,\gamma)=N_{G,\gamma}\cdot P_s\cdot\gamma$，$P_s$表示网关成功转发的概率，结合资源分配比网关缓存上界以及平稳分布的条件构造吞吐量的优化问题，利用修正差分演化算法求得最优转发阈值γ^*和最优资源分配比β^*。

所述的吞吐量的优化问题如下：

$$\max_{\beta,\gamma}\ T(\beta,\gamma)=\left\lfloor\frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor\cdot\gamma \tag{24a}$$

$$\text{s.t.}\quad 0<\beta<1 \tag{24b}$$

$$\gamma\in \mathrm{N}^+,1\le\gamma\le\gamma^U \tag{24c}$$

$$\boldsymbol{\Pi}^{\mathrm{T}}=\boldsymbol{\Pi}^{\mathrm{T}}\mathbf{P} \tag{24d}$$

$$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1,\ 0<\pi_i<1,(i=1,\ldots\gamma) \tag{24e}$$

$$\left\lfloor\frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor\le N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1} \tag{24f}$$

Q_M表示系统在一个随机接入机会中用于传输数据的总资源块数，δ_2表示网关转发一个数据包所需的资源块数，γ^U 表示网关实际缓存上界，$\boldsymbol{\Pi}$表示系统的平稳分布，$\mathbf{P}$表示网关缓存占有量的转移概率矩阵，N_{PA}表示前导码数。

所述的修正差分演化算法是 1）利用罚函数将原优化问题转化为无约束优化问题，

$$\max_{\beta,\gamma}\ g(\beta,\gamma) \tag{56a}$$

$$\text{s.t.}\quad 0<\beta<1 \tag{56b}$$

$$\gamma\in \mathrm{N}^+,1\le\gamma\le\gamma^U \tag{56c}$$

$$\Pi=\Pi P \tag{56d}$$

$$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1 \tag{56e}$$

其中，$g(\beta,\gamma)$表示罚函数；2）在算法迭代过程中，将整型变量转发阈值γ看作实型变量再求目标函数之前将实型变量γ四舍五入取整，3）由于差分演化算法变异操作不封闭，当通过变异操作得到的资源分配比β和转发阈值γ超出取值范围时，在取值范围内随机生成以取代超出边界的变量。

所述罚函数$g(\beta,\gamma)=T(\beta,\gamma)-\sigma\left[\max\left(0,f(\beta,\gamma)\right)+\max\left(0,-\pi_{\gamma}\right)\right]$，其中$\sigma$为惩罚因子。

本发明提出的基于分组的随机接入与数据传输方案更适用于 mMTC 网络，对于整个系统，可以大大提升吞吐量，减小系统总服务时间，缓解网络拥塞，提升资源利用率，对于每个 MTCD，可以减小平均接入时延，增加成功接入概率。

附图说明

图 1 是本发明基于分组的随机接入与数据传输方案中双跳 mMTC 网络的系统模型。

图 2 是本发明基于分组的随机接入与数据传输方案中的链路 1 与链路 2 的资源分配情况。

图 3 是本发明与传统方案下的总服务时间随系统中每组 MTCD 数的变化曲线。

图 4 是本发明与传统方案下的总吞吐量随系统每组 MTCD 数的变化曲线。

图 5 是本发明与传统方案下的平均吞吐量随系统每组 MTCD 数的变化曲线。

图 6 是本发明与传统方案下的成功接入概率随系统每组 MTCD 数的变化曲线。

图 7 是本发明与传统方案下的成功设备平均接入时延随系统每组 MTCD 数的变化曲线。

具体实施方式

1.系统模型：

在 mMTC 网络中，有一个基站（base station，BS），其覆盖范围内包含N_G个 MTC 网关（MTC gateway，MTCG）,每个 MTCG 管理N_g个 MTCD，网络中共有$N_D=N_G\cdot N_g$个 MTCD，换而言之，N_D个 MTCD 按照所属 MTCG 被分为N_G个 MTCD 组。一个随机接入机会时长（random access opportunity，RAO）记为T_{RAO}，将时间轴以T_{RAO}为单位进行划分，我们假设所有 MTCD 的流量到达模型服从时长为T_a个 RAO 的均匀分布。在本发明中，我们假定所有的信道增益都是独立的，平稳的，并且各态历经的块衰落过程。

本发明设计的 mMTC 网络架构是一个双跳网络。如图 1 所示，由 MTCD 到 BS 的通信包含 2 条链路，分别称之为链路 1 与链路 2。其中，MTCD 通过链路 1 将数据包传给 MTCG，MTCG 通过链路 2 将缓存中聚合的数据包传给 BS。

链路 1 与链路 2 的资源分配如图 2 所示。假设一个 RAO 用于传输数据的资源块（resource block，RB）共有Q_M个，链路 1 所含资源块总数为

$$Q_1=\beta Q_M, \qquad (1)$$

其中：β——资源分配比。将链路 1 的资源均分为N_G个部分，分别分配到N_G个 MTCD 组中。假设链路 1 中 MTCD 向 MTCG 传输一个数据包需要δ_1个 RB，则链路 1 中每个 MTCD 组含有

$$U_1=\left\lfloor\frac{Q_1}{N_G\cdot\delta_1}\right\rfloor=\left\lfloor\frac{\beta Q_M}{N_G\cdot\delta_1}\right\rfloor \qquad (2)$$

个正交信道。

链路 2 中，只有缓存大小达到转发阈值γ且接入成功的网关才能通过链路 2 向 BS 传输缓存中聚合的数据包，注意我们规定网关向 BS 转发数据包时，一次把缓存队列中的γ个数据包全部传输给基

站。假设链路 2 中 MTCG 向 BS 中转一个数据包需要δ_2个 RB，则链路 2 含有

$$U_2=\left\lfloor\frac{Q_2}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor=\left\lfloor\frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor \quad (3)$$

个正交信道供网关转发聚合的数据包。

2.链路 1 与链路 2 的通信方式

2.1 链路 1

链路 1 中，假设每个 RAO 中每个 MTCD 至多有一个数据包需要发送。链路 1 的通信过程包含以下步骤：

（1）MTCG 向组内设备广播类 ACB 因子。每个网关估计该组当前 RAO 发送数据包的 MTCD 数$N_{a,i}$（$i=1,\ldots N_G$），即该组在当前 RAO 中的激活设备数，本发明中假设每个网关都能精确估计$N_{a,i}$。然后每个网关向该组所有设备广播类似于 ACB 机制的类 ACB 因子ρ来控制组内向网关传输数据的设备数，本发明中我们称该机制为类 ACB 机制。

（2）激活设备进行类 ACB 检测。具体来说，该组所有激活设备随机生成 0~1 之间的一个随机数，并与类 ACB 因子ρ进行比较，如果生成的随机数小于等于ρ，则该设备通过类 ACB 检测，否则进行均匀退避。对于每个 MTCD 组，通过类 ACB 检测的组内设备在U_1个正交信道中随机选择一个信道，并通过该信道将数据包传输给 MTCG，如图 1 所示。

（3）MTCG 根据缓存余量接收数据包。注意本发明中只有网关达到转发阈值γ才能向基站发起接入请求，即进行四消息握手过程，虽然网关实际缓存上界$\gamma^U\geq\gamma$，但是为了后续便于分析网关缓存状态的平稳分布，我们规定本发明的双跳 mMTC 网络中网关的缓存最多能容纳γ个数据包。网关接收数据包的过程包含 2 部分。1）首先，MTCG 检测U_1个正交信道，每个信道可能出现 3 种情况，分别是被一个设备选择，没有被设备选择以及被多个设备选择，其中只有某个信道被一个设备选择时，MTCG 才能正确检测出对应的数据包，我们也称该设备U_1选择成功。2）然后，网关根据缓存余量接收成功检测的数据包，具体来说，若缓存余量大于等于U_1选择成功的数据包数，则所有U_1选择成功的数据包被网关成功接收并存储在缓存队列中，否则网关根据缓存余量大小在U_1选择成功的数据包中进行随机选择并存储在缓存队列中，使得缓存队列长度达到转发阈值γ。

由于每个 RAO 中，每个 MTCD 组含有U_1个正交信道，根据 ACB 机制原理，每个正交信道相应于一个前导码，为了最大化U_1选择成功的设备数，类 ACB 因子取值如下：

$$\rho=\min\left\{U_1/N_{a,i},1\right\} \quad (4)$$

鉴于考虑的是 mMTC 场景，每个 RAO 中每组需要传输数据的设备数较多，所以

$$\rho=U_1 / N_{a,i} \tag{5}$$

该类 ACB 机制可以控制每个 MTCD 组在每个 RAO 中有U_1个激活设备，从而最大化U_1选择成功的设备数。记一个信道被一个设备选择的概率为P_{U_1}，则：

$$P_{U_1}=C_{U_1}^1\frac{1}{U_1}\left(1-\frac{1}{U_1}\right)^{U_1-1}=\left(1-\frac{1}{U_1}\right)^{U_1-1} \tag{6}$$

由于每个 MTCD 组含有U_1个正交信道，因此一个 MTCG 在一个 RAO 中能成功检测的数据包数的取值为 0,1，2，…,U_1。记一个 MTCG 在一个 RAO 成功检测 i（$i=0,1,2,\ldots,U_1$）个包的概率为$P_{G,i}$（$i=0,1,2,\ldots,U_1$），则：

$$P_{G,i}=C_{U_1}^i P_{U_1}{}^i\left[1-P_{U_1}\right]^{U_1-i}=C_{U_1}^i\left(\left(1-\frac{1}{U_1}\right)^{U_1-1}\right)^i\left(1-\left(1-\frac{1}{U_1}\right)^{U_1-1}\right)^{U_1-i} \tag{7}$$

2.2 链路 2

链路 2 的通信过程包含以下步骤：

（1）缓存队列长度达到转发阈值γ的 MTCG 向 BS 发起接入请求，通过基于竞争的随机接入四消息握手过程接入基站，即 MTCG 随机选择一个前导码通过物理随机接入信道发送给 BS，BS 检测前导码并向 MTCG 回发随机接入响应消息，MTCG 通过随机接入响应消息在分配的上行信道传输信息，BS 检测信息并对成功检测的 MTCG 发送竞争解决消息，以通知该 MTCG 接入成功。本发明中，我们规定若某一前导码仅被一个 MTCG 选择，则该 MTCG 接入成功，也称该 MTCG 竞争前导码成功。竞争前导码成功的 MTCG 进行下一步，竞争失败的 MTCG 在下一个 RAO 再次发起接入请求。

（2）BS 根据链路 2 的正交信道数随机选择竞争前导码成功的 MTCG 并分配信道供网关转发缓存中的数据包。具体来说，若U_2大于等于竞争前导码成功的 MTCG 数，则所有接入成功的 MTCG 都可以成功转发数据包，否则 BS 在这些 MTCG 中随机选择U_2个并分配信道供相应网关在链路 2 中转发数据包。

令系统稳态时由于达到转发阈值而竞争前导码的 MTCG 数为$N_{G,\gamma}$，则达到阈值的网关竞争前导码成功的概率为：

$$P_{PA}=C_{N_{PA}}^1\frac{1}{N_{PA}}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1} \tag{8}$$

其中，N_{PA}——前导码数。所以竞争前导码成功的 MTCG 数为：

$$N_{G,PA} = N_{G,\gamma} \cdot P_{PA} \tag{9}$$

在这些竞争前导码成功的 MTCG 中，能被成功分配到链路 2 信道的概率为：

$$P_{U_2} = \min\left\{1, \frac{U_2}{N_{G,PA}}\right\} \tag{10}$$

因此，达到转发阈值的 MTCG 成功转发数据包的概率为：

$$P_s = P_{PA} \cdot P_{U_2} = \left(1 - \frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1} \min\left\{1, \frac{U_2}{N_{G,\gamma}\left(1 - \frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}}\right\} \tag{11}$$

3. 应用马尔科夫理论分析 MTCG 缓存状态的平稳分布

为了求解所设计的 mMTC 网络系统达到平稳状态时在每个 RAO 中缓存达到阈值的 MTCG 数 $N_{G,\gamma}$，本小节我们以网关缓存队列长度为状态，应用马尔科夫理论分析缓存大小的转移概率矩阵，从而推导$N_{G,\gamma}$。每个网关的缓存大小状态共有 γ+1 种，分别为： 0,1,2,…γ。分析缓存大小的概率转移矩阵需从以下 2 种情况讨论：

（1）$U_1 \geq \gamma$时

$U_1 \geq \gamma$表明链路 1 每组的正交信道数大于等于网关转发阈值，这种情况下，缓存大小状态的转移概率矩阵如式（12）所示。其中，**P** 为$\gamma+1$行$\gamma+1$列的矩阵，为了便于后续推导，我们分别记为第 0 行，第 1 行，…第γ行，第 0 列，第 1 列，…第γ列，$P_{ij}(i=0,1,2,\ldots\gamma, j=0,1,2,\ldots\gamma)$——表示缓存大小由$i$转移到$j$的概率。当网关在上一 RAO 结束时缓存大小为 i（i=0,1,2,…γ-2），当前 RAO 在链路一的U_1个正交信道中成功检测$j-i$个数据包 $(j=i+1,i+2,\ldots\gamma-1)$，且由于缓存余量大于成功检测的包数从而成功接收所有数据包使得缓存大小变为 j 时，由式（7），有 $P_{ij}=P_{0,j-i}$，$(i=0,1,2,\ldots\gamma-2, j=i+1,\ldots\gamma-1)$。当网关在上一 RAO 结束时缓存大小为 i（i=1,2,…γ-1），当前 RAO 在链路一的U_1个正交信道中成功检测 0 个数据包时，缓存大小保持不变，有$P_{ii}=P_{0,0}$，$(i=1,2,\ldots\gamma-1)$。由于网关中的缓存只有达到阈值时才能有成功转发的机会且一次性

转发γ个数据包从而使得缓存变为 0，所以有$P_{ij}=0,\ (i=2,\dots\gamma, j=1,2,\ \dots i-1)$。当网关在上一 RAO 结束时缓存大小为 i（i=0,2,…γ），当前 RAO 在链路一的U_1个正交信道中成功检测的数据包大于等于$\gamma-i$时，网关根据缓存余量大小对成功检测的数据包进行随机选择并接收到缓存队列中，使得缓存队列长度达到阈值，这种情况下，由式（11），若网关成功转发缓存中的数据包，则缓存大小清零，所以有 $P_{i0}=P_s\sum_{k=\gamma-i}^{U_1}P_{G,k},(i=1,\dots\gamma)$；由于缓存上一 RAO 为 0，当前 RAO 没有成功检测数据包时，缓存仍为 0，所以有 $P_{00}=P_{G,0}+P_s\sum_{i=\gamma}^{U_1}P_{G,i}$；若网关转发失败，则缓存大小保持为 γ，所以有 $P_{i\gamma}=P_s\sum_{k=\gamma-i}^{U_1}P_{G,k},\ (i=0,\dots\gamma)$。

$$\mathbf{P}=\begin{bmatrix} P_{G,0}+P_s\sum_{i=\gamma}^{U_1}P_{G,i} & P_{G,1} & P_{G,2} & \dots & P_{G,\gamma-1} & (1-P_s)\sum_{i=\gamma}^{U_1}P_{G,i} \\ P_s\sum_{i=\gamma-1}^{U_1}P_{G,i} & P_{G,0} & P_{G,1} & \dots & \dots & (1-P_s)\sum_{i=\gamma-1}^{U_1}P_{G,i} \\ P_s\sum_{i=\gamma-2}^{U_1}P_{G,i} & 0 & P_{G,0} & P_{G,1} & \dots & (1-P_s)\sum_{i=\gamma-2}^{U_1}P_{G,i} \\ \dots & & & \dots & & \dots \\ P_s\sum_{i=1}^{U_1}P_{G,i} & 0 & \dots & \dots & P_{G,0} & (1-P_s)\sum_{i=1}^{U_1}P_{G,i} \\ P_s & 0 & \dots & \dots & 0 & 1-P_s \end{bmatrix} \quad (12)$$

记系统达到平稳状态时网关缓存大小在每一 RAO 结束时刻为 i 的概率为$\pi_i,(i=0,1,\dots\gamma)$，则系统的平稳分布为：

$$\mathbf{\Pi}=\left[\pi_0,\pi_1,\pi_2,,\dots\pi_\gamma\right]^{\mathrm{T}} \quad (13)$$

由此可以得到$U_1\geq\gamma$时，系统在平稳状态下每 RAO 由于达到转发阈值而发起接入请求的网关数为：

$$N_{G,\gamma}=N_G\left[\sum_{j=0}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+\pi_\gamma\right] \quad (14)$$

式（14）等号右边中括号里的式子表示当前 RAO 网关由于在链路 1 成功接收数据包使得缓存大小达到阈值的概率，由于$U_1\geq\gamma$，所以上一 RAO 无论缓存大小为多少，当前 RAO 网关通过链路 1 数据包的接收都有可能达到转发阈值。也就是说，上一 RAO 结束时网关缓存大小为$j(j=0,1,2,\dots\gamma)$时，若网关当前 RAO 能成功检测的数据包数大于等于$\gamma-j$，则该网关能够达到转发阈值，因此该网关

当前 RAO 能够达到转发阈值的概率为 $\sum_{i=\gamma-j}^{U_1} P_{G,i}$ 。

（2）$U_1 < \gamma$时

$U_1 < \gamma$表明链路 1 每组的正交信道数小于网关转发阈值，这种情况下，定义$P_{0,k} = 0, (k > U_1)$，即在一个 RAO 内一个网关在链路 1 成功检测的数据包数不可能超过U_1。根据$U_1 \geq \gamma$情况的讨论，同理我们有$P_{ij}(i = 0,1,2,\ldots\gamma-2, j = i+1, \ldots\gamma-1) = P_{0,j-i}$，$P_{ii}(i = 1,2,\ldots\gamma-1) = P_{0,0}$，$P_{ij}(i = 2,\ldots\gamma, j = 1,2, \ldots i-1) = 0$。由于链路 1 每组的正交信道数小于网关转发阈值，所以缓存大于等于$\gamma - U_1$时才有转移到 0 或γ的可能，因此有

$P_{00} = P_{G,0}$，$P_{0j} = 0, (j = 1,..,\gamma - U_1 - 1)$，

$P_{i\gamma} = 0\ (i = 0,1,...,\gamma - U_1 - 1)$，$P_{i0} = p_s \sum_{k=\gamma-i}^{U_1} p_{G,k}\ (i = \gamma - U_1, ...\gamma)$，$P_{i\gamma} = (1-p_s) \sum_{i=\gamma-i}^{U_1} p_{G,i}, (i = \gamma - U_1, ...\gamma)$。

基于以上讨论，$U_1 < \gamma$时缓存大小状态的转移概率矩阵如式（15）所示。

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{G,0} & p_{G,1} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & p_{G,0} & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & p_{G,0} & p_{G,1} & \cdots & p_{G,U_1} & 0 \\ p_s p_{G,U_1} & 0 & \cdots & 0 & 0 & p_{G,0} & \cdots & p_{G,U_1-1} & (1-p_s) p_{G,U_1} \\ p_s \sum_{i=U_1-1}^{U_1} p_{G,i} & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & p_{G,U_1-2} & (1-p_s) \sum_{i=U_1-1}^{U_1} p_{G,i} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ p_s \sum_{i=1}^{U_1} p_{G,i} & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & p_{G,0} & (1-p_s) \sum_{i=1}^{U_1} p_{G,i} \\ p_s & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1-p_s \end{bmatrix} \quad (15)$$

同理可以得到$U_1 < \gamma$时，系统在平稳状态下每 RAO 由于达到转发阈值而发起接入请求的网关数为：

$$N_{G,\gamma} = N_G \left[\sum_{j=\gamma-U_1}^{\gamma-1} \left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1} P_{G,i} \right) \pi_j + \pi_\gamma \right] \quad (16)$$

由于一个网关最多能成功检测U_1个数据包，所以$U_1 < \gamma$时缓存大小至少为$\gamma - U_1$的网关才有可能通过链路 1 的接收达到转发阈值。也就是说，上一 RAO 结束时网关缓存大小为$j\ (j = \gamma - U_1, \ldots, \gamma)$时，

若网关当前 RAO 能成功检测的数据包数大于等于$\gamma - j$，则该网关能够达到转发阈值，因此该网关当前 RAO 能够达到转发阈值的概率为 $\sum_{i=\gamma-j}^{U_1} P_{G,i}$。基于以上分析，我们可以得到$U_1 < \gamma$时当前 RAO 网关由于成功接收数据包而达到转发阈值的概率如式（16）等号右边中括号里的式子所示。

4.吞吐量及优化问题的描述与建立

在本小节中，我们首先分析系统稳态时吞吐量的表达式，然后结合平稳分布，转发阈值，资源分配比等约束条件，构建吞吐量优化问题。

4.1 吞吐量分析

系统稳态时，BS 成功接收的数据包数为成功转发的网关数与转发阈值的乘积，因此系统稳态时一个 RAO 的吞吐量可以表示为：

$$T(\beta,\gamma) = N_{G,\gamma} \cdot P_s \cdot \gamma \tag{17}$$

根据式（11），我们需要从以下 2 种情况进一步分析吞吐量的表达式：

（1）$U_2 \le N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}$ 时

这种情况下，$U_2 \le N_{G,PA}$，即接入成功的网关数大于等于链路 2 的信道数，因此竞争前导码成功的网关能够分配到链路 2 信道的概率为：

$$P_{U_2} = \frac{U_2}{N_{G,PA}} = \frac{U_2}{N_{G,\gamma}\left(1-1/N_{PA}\right)^{N_{G,\gamma}-1}} \tag{18}$$

所以，达到阈值的网关能够成功转发的概率为：

$$P_s = P_{PA} \cdot P_{U_2} = \frac{U_2}{N_{G,\gamma}} \tag{19}$$

将式（19）代入式（17），可以得到$U_2 \le N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}$ 时 系统稳态下的吞吐量为：

$$T(\beta,\gamma) = U_2 \cdot \gamma = \left\lfloor \frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma \cdot \delta_2} \right\rfloor \cdot \gamma \tag{20}$$

（2）$U_2 > N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}$ 时

这种情况下，$U_2 > N_{G,PA}$，即接入成功的网关数小于链路 2 的信道数，所有竞争前导码成功的网关都能被分配到链路 2 的信道，因此竞争前导码成功的网关能够分配到链路 2 信道的概率为：

$$P_{U_2} = 1 \tag{21}$$

所以，达到阈值的网关能够成功转发的概率为：

$$P_s = P_{PA} \cdot P_{U_2} = P_{PA} \tag{22}$$

将式（22）代入式（17），可以得到$U_2 > N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}$时 系统稳态下的吞吐量为：

$$T(\beta,\gamma) = N_{G,\gamma}\cdot P_{PA}\cdot\gamma = N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}\cdot\gamma \tag{23}$$

4.2 优化问题的描述与建立

基于 5.1 的分析，当$U_2 > N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}$时，链路 2 的信道数大于接入成功的网关数，系统中链路 2 的一些资源未使用，表明该情况下，链路 2 分配的资源较多。如果把链路 2 中分配过多的没被使用的资源取出一部分划分到链路 1 中，则可以提升链路 1 中一个信道成功接收一个包的概率，从而增加网关缓存大小处于阈值的概率，适当增加成功竞争 PA 的网关数，提升吞吐量；再或者如果增加转发阈值，使链路 2 资源尽量被使用，也可以提升吞吐量。根据以上讨论，我们可以得出系统吞吐量最大值出现在第一种情况中。为了优化所设计的 mMTC 网络性能，我么通过优化资源分配比及网关转发阈值，来最大化系统稳态时的吞吐量，因此我们的吞吐量优化问题可以表示为：

$$\max_{\beta,\gamma}\ T(\beta,\gamma) = \left\lfloor\frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor\cdot\gamma \tag{24a}$$

$$\text{s.t.}\quad 0<\beta<1 \tag{24b}$$

$$\gamma\in \mathrm{N}^+, 1\le\gamma\le\gamma^U \tag{24c}$$

$$\boldsymbol{\Pi}^{\mathrm{T}}=\boldsymbol{\Pi}^{\mathrm{T}}\mathbf{P} \tag{24d}$$

$$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1,\ 0<\pi_i<1,(i=1,\ldots\gamma) \tag{24e}$$

$$\left\lfloor\frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor\le N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1} \tag{24f}$$

其中，$P_s=\frac{U_2}{N_{G,\gamma}}$，由式（14）与（16），有：

$$N_{G,\gamma} = N_G\left[\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+\pi_\gamma\right] \tag{25}$$

式（24b）为资源分配比的取值范围约束，式（24c）表明转发阈值取值为正整数，最小值为 1，但又不能超过实际中网关的缓存上界γ^U。式（24d）及式（24e）为马尔科夫链平稳分布理论本身的约束，用于求解给定资源分配比及转发阈值条件下网关缓存的平稳分布，其中式（24d）表明平稳分布与转移概率矩阵的关系，式（24e）表明平稳分布下所有状态的概率之和为 1，且每个状态的概率大于 0 小于 1。式（24f）表示吞吐量最大值出现在 5.1 的第一种情况中，相应的优化目标的表达式如式（24a）所示。

5.优化问题的求解

本发明中的优化问题直接求解较为困难，很难得到闭式解，所以我们采用修正的差分演化算法来求解最优解。在差分演化算法的每次迭代中，我们首先需要根据式（24d）及（24e）求解缓存状态的平稳分布，根据式（12）和（15）所表示的概率转移矩阵，我们可以看出平稳分布也很难直接求出闭式表达式，因此，我们通过高斯约旦消元法求解平稳分布。所以本小节包含 2 部分内容：应

用高斯约旦消元法求解平稳分布以及应用改进的差分演化算法求解最优解。

5.1 应用高斯约旦消元法求解平稳分布

本节中，我们首先根据式（24d）及（24e）求解缓存状态的平稳分布，从而进一步求解系统稳态时达到转发阈值的网关数$\mathbb{N}_{G,\gamma}$。

由式（24d），我们有：

$$\left(\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}\right)\boldsymbol{\Pi}=\mathbf{0} \tag{26}$$

式（26）为一个齐次方程组，包含了$\gamma+1$个方程，分别对应$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$的$\gamma+1$行，其中，$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$需要分以下 2 种情况讨论：

（1）$U_1 \geq \gamma$时

$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$如式（27）所示：

$$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}=\begin{bmatrix} P_{G,0}+P_s\sum_{i=\gamma}^{U_1}P_{G,i}-1 & P_s\sum_{i=\gamma-1}^{U_1}P_{G,i} & P_s\sum_{i=\gamma-2}^{U_1}P_{G,i} & \cdots & P_s\sum_{i=1}^{U_1}P_{G,i} & P_s \\ P_{G,1} & P_{G,0}-1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ P_{G,2} & P_{G,1} & P_{G,0}-1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{G,\gamma-1} & P_{G,\gamma-2} & \cdots & \cdots & P_{G,0}-1 & 0 \\ (1-P_s)\sum_{i=\gamma}^{U_1}P_{G,i} & (1-P_s)\sum_{i=\gamma-1}^{U_1}P_{G,i} & \cdots & \cdots & (1-P_s)\sum_{i=1}^{U_1}P_{G,i} & -P_s \end{bmatrix} \tag{27}$$

（2）$U_1 < \gamma$时

$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$如式（28）所示：

$$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}=\begin{bmatrix} p_{G,0}-1 & 0 & \cdots & 0 & p_s p_{G,U_1} & p_s\sum_{i=U_1-1}^{U_1}p_{G,i} & \cdots & p_s\sum_{i=1}^{U_1}p_{G,i} & p_s \\ p_{G,1} & p_{G,0}-1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & p_{G,0}-1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & p_{G,1} & p_{G,0}-1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & p_{G,U_1} & p_{G,U_1-1} & p_{G,U_1-2} & \cdots & p_{G,0}-1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & (1-p_s)p_{G,U_1} & (1-p_s)\sum_{i=U_1-1}^{U_1}p_{G,i} & \cdots & (1-p_s)\sum_{i=1}^{U_1}p_{G,i} & -p_s \end{bmatrix} \tag{28}$$

根据式（27）和（28），我们可以看出$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$为$\gamma+1$行$\gamma+1$列的矩阵，且无论$U_1 \geq \gamma$还是$U_1 < \gamma$，$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$的第 2 行到第 γ 行的第$\gamma+1$列元素均为 0，也就是说，我们可以先根据这些行所对应的方程

组求出$\pi_i(i=0,1,2\ldots,\gamma-2)$与$\pi_{\gamma-1}$的关系，然后将所求结果代入式（26）的第一个方程，求出$\pi_{\gamma-1}$与π_γ的关系，最后再把上述结果代入式（24e），我们就可以得到系统稳态时网关缓存大小的平稳分布。具体来说，我们首先把$\mathbf{P}^{\mathrm{T}}-\mathbf{I}$的第 2 行到第 γ 行的前γ列元素按照相应位置提取出来，构成矩阵$\mathbf{A}_{(\gamma-1)\times\gamma}$，记$\mathbf{\Pi}_1=\left[\pi_0,\pi_1,\ldots\pi_{\gamma-1}\right]^{\mathrm{T}}$，则可以得到齐次方程组：

$$\mathbf{A}\mathbf{\Pi}_1=\mathbf{0} \tag{29}$$

利用高斯约旦消元法将系数矩阵 **A** 化为简化行阶梯式矩阵 $\mathbf{A_1}$，我们可以得到：

$$\mathbf{A}_{1\,(\gamma-1)\times\gamma}=\begin{bmatrix}1&0&0&0&\ldots&a_0\\0&1&0&1&\ldots&a_1\\0&0&1&0&\ldots&a_2\\\vdots&\vdots&\vdots&\vdots&&\vdots\\0&0&0&0&1&a_{\gamma-2}\end{bmatrix} \tag{30}$$

其中，$a_i\left(i=0,1,\ldots\gamma-2\right)$为$\beta,\gamma$的函数。又因为

$$\mathbf{A}_1\mathbf{\Pi}_1=\mathbf{0} \tag{31}$$

所以有：

$$\pi_i+a_i\pi_{\gamma-1}=0,\left(i=0,1,\ldots\gamma-2\right) \tag{32}$$

因此，我们可以得到：

$$\pi_i=-a_i\pi_{\gamma-1},\left(i=0,1,\ldots\gamma-2\right) \tag{33}$$

令$a_{\gamma-1}=-1$，则有：

$$\pi_i=-a_i\pi_{\gamma-1},\left(i=0,1,\ldots\gamma-1\right) \tag{34}$$

将式（34）代入式（25），可以得到：

$$N_{G,\gamma}=N_G\left[\pi_\gamma-\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\pi_{\gamma-1}\right] \tag{35}$$

为了进一步推导平稳分布及$\mathbf{N}_{G,\gamma}$，需从以下 2 种情况讨论：

（1）$U_1\geq\gamma$时：

由式（27）的第一行对应的方程组有：

$$\left(P_{G,0}-1+P_s\sum_{i=\gamma}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_0+P_s\sum_{j=1}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+P_s\pi_\gamma=0 \tag{36}$$

整理可得

$$\left(P_{G,0}-1\right)\pi_0+P_s\sum_{j=0}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+P_s\pi_\gamma=0 \tag{37}$$

将式（34）代入式（37），可以得到：

$$\frac{\left(1-P_{G,0}\right)a_0\pi_{\gamma-1}}{P_s}-\left[\sum_{j=0}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\right]\pi_{\gamma-1}+\pi_\gamma=0 \tag{38}$$

（2）$U_1<\gamma$时：

由式（28）的第一行对应的方程有：

$$\left(P_{G,0}-1\right)\pi_0+P_s\sum_{j=\gamma-U_1}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+P_s\pi_\gamma=0 \tag{39}$$

将式（34）代入式（38），可以得到：

$$\frac{\left(1-P_{G,0}\right)a_0\pi_{\gamma-1}}{P_s}-\left[\sum_{j=\gamma-U_1}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\right]\pi_{\gamma-1}+\pi_\gamma=0 \tag{40}$$

基于以上2种情况的讨论，由式（38）及（40），我们可以得到无论$U_1\geq\gamma$还是$U_1<\gamma$，均有下式成立：

$$\frac{\left(1-P_{G,0}\right)a_0\pi_{\gamma-1}}{P_s}-\left[\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\right]\pi_{\gamma-1}+\pi_\gamma=0 \tag{41}$$

将式（35）代入（19），可以得到：

$$P_s=\frac{U_2}{N_{G,\gamma}}=\frac{U_2}{N_G\left[\pi_\gamma-\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\pi_{\gamma-1}\right]} \tag{42}$$

将式（42）代入式（41）可以得到：

$$\begin{aligned}\frac{\left(1-P_{G,0}\right)a_0N_G}{U_2}&\left[\pi_\gamma-\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\pi_{\gamma-1}\right]\pi_{\gamma-1}-\\&\left[\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\right]\pi_{\gamma-1}+\pi_\gamma=0\end{aligned} \tag{43}$$

整理可得：

$$\begin{aligned}\frac{\left(P_{G,0}-1\right)a_0N_G}{U_2}&\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j{\pi_{\gamma-1}}^2-\\&\left[\frac{\left(P_{G,0}-1\right)a_0N_G}{U_2}\pi_\gamma+\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j\right]\pi_{\gamma-1}+\pi_\gamma=0\end{aligned} \tag{44}$$

可以看出式（44）是$\pi_{\gamma-1}$的二次方程，由求根公式，我们可以得到：

$$\pi_{\gamma-1,1}=\frac{\pi_\gamma}{\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)a_j},\quad \pi_{\gamma-1,2}=\frac{U_2}{\left(P_{G,0}-1\right)a_0N_G} \tag{45}$$

由式（24e）及式（34），我们可以知道 ，考虑到约束条件式（24e），我

$$a_j<0,(j=0,1,2,\ldots\gamma-1)$$

们可以得到：

$$\pi_{\gamma-1}=\frac{U_2}{\left(P_{G,0}-1\right)a_0N_G} \tag{46}$$

将式（34）代入式（24e），可以得到：

$$-\left(\sum_{i=0}^{\gamma-1}a_i\right)\pi_{\gamma-1}+\pi_\gamma=1 \tag{47}$$

由式（34），（46）及（47），可以得到平稳分布：

$$\pi_\gamma=1+\left(\sum_{i=0}^{\gamma-1}a_i\right)\frac{U_2}{\left(P_{G,0}-1\right)a_0N_G},\pi_i=-a_i\frac{U_2}{\left(P_{G,0}-1\right)a_0N_G}\ \left(i=0,\ldots\gamma-1\right) \tag{48}$$

综上，将所求的平稳分布式（48）代入式（35），就可以求得给定资源分配比及转发阈值条件下$N_{G,\gamma}$的取值。综上，求解平稳分布的算法如表 1 所示。

表 1 求解平稳分布的算法

输入：资源分配比β，网管转发阈值γ
按照式（2）及（3）计算U_1与U_2；
根据U_1与γ的关系按照式（27）或（28）计算矩阵$\mathbf{P^T-I}$；
从矩阵$\mathbf{P^T-I}$中提取矩阵$\mathbf{A}$;
利用高斯约旦消元法求矩阵$\mathbf{A_1}$；
按照式（48）求平稳分布Π；
将平稳分布Π代入式（35）求$N_{G,\gamma}$；
输出：π_γ，$N_{G,\gamma}$

5.2 应用修正的差分演化算法求解最优解

式（24）所描述的优化问题是一个带约束的混合整数非线性规划问题，由于该问题同时含有连续型变量及离散型变量，求解较为困难，因此，我们采用修正的差分演化算法进行求解。差分演化算法是一种基于实数编码的，在连续空间进行全局优化的启发式算法，通过群体间个体的合作与竞争所产生的群体来智能的指导优化搜索的方向，具体包含种群初始化，变异，交叉，选择 4 个操作。接下来分别介绍差分演化中这 4 个操作的具体内容。

（1）种群初始化

假设种群大小为 ps，将该种群的第 l 代的第 m 个个体的取值表示为：

$$x_m^{(l)}=\left(x_{m\,1}^{(l)},x_{m\,2}^{(l)}\right)=\left(\beta_m^{(l)},\gamma_m^{(l)}\right),\ (m=1,2,...ps) \tag{49}$$

则种群初始化的具体操作为根据每个分量的取值范围随机均匀的产生第一代种群：

$$x_m^{(1)}=\left(x_{m\,1}^{(1)},x_{m\,2}^{(1)}\right)=\left(\beta_m^{(1)},\gamma_m^{(1)}\right),(m=1,2,...ps) \tag{50}$$

其中，$\beta_m^{(1)},(m=1,2,...ps)$在开区间$(0,1)$上随机均匀生成，$\gamma_m^{(1)},(m=1,2,...ps)$在1~$\gamma^{\mathrm{U}}$之间的整数中随机均匀生成。由此，我们便可以对当代种群的每个个体通过变异，交叉，选择等操作生成下一代群体，如此循环，不断迭代，使种群不断进化，从而找到最优解。

（2）变异

变异操作指的是基于当代种群中随机选择的个体的差值对每个父代个体生成相应的变异个体，假设当前种群为第 l 代种群，则对于第 m（m=1,2,…,ps）个父代个体 $x_m^{(1)}$，其通过变异操作所产生的变异个体为：

$$v_m^{(l)}=x_{s_1}^{(l)}+F\left(x_{s_2}^{(l)}-x_{s_3}^{(l)}\right) \tag{51}$$

其中，s_1,s_2,s_3——种群中随机选取的3个个体且$s_1\neq s_2\neq s_3\neq m$，$F$——变异因子，一般$F\in(0,2)$。

（3）交叉

交叉操作指的是根据一定的概率，将父代个体 $x_m^{(1)}$ 与变异个体 $v_m^{(l)}$ 在每个分量上分别进行交叉从而生成临时个体。第 l 代种群的第 m 个个体通过该操作所产生的临时个体的每个分量为：

$$u_{m\,n}^{(l)}=\begin{cases}v_{m\,n}^{(l)}, & r_{1,n}\le cp\text{或}n=r_2\\ x_{m\,n}^{(l)}, & \text{其他}\end{cases}\ (n=1,2) \tag{52}$$

其中，$v_{m\,n}^{(l)}\ (n=1,2)$——$v_m^{(l)}$的第n个分量，$r_{1,n}\ (n=1,2)$——在区间$[0,1]$间随机均匀生成，cp——交叉概率，r_2在集合$\{1,2\}$中随机选择。则对应的临时个体可表示为$u_m^{(1)}=\left(u_{m\,1}^{(1)},u_{m\,2}^{(1)}\right)$，该交叉操作可以保证临时个体$u_m^{(1)}$可以至少获得变异个体$v_m^{(l)}$的一个分量。

（4）选择

选择操作指的是在父代个体 $x_m^{(1)}$ 与临时个体 $u_m^{(1)}$ 中选择最优的个体作为下一代个体。对于最大化问题，就是选择使目标函数更大的作为下一代，父代个体 $x_m^{(1)}$ 通过该操作所产生的下一代个体为：

$$x_m^{(l+1)}=\begin{cases}u_m^{(l)}, & g\left(u_m^{(l)}\right)\ge g\left(x_m^{(l)}\right)\\ x_m^{(l)}, & \text{其他}\end{cases} \tag{53}$$

其中，g（）表示优化问题中的目标函数。

以上这 4 步操作是最基本的差分演化算法的过程介绍，适用于求解无约束连续型变量的优化问题，由于我们的优化问题是带约束的混合整数非线性规划问题，所以需要对上述算法作以修正。具体包含 3 个内容，分别为约束函数的处理，整型变量γ的处理，边界违反情况的处理，接下来分别

介绍这 3 个内容。

（1）约束函数的处理

在修正的差分演化算法中，我们采用罚函数处理函数约束，将我们的优化问题转化为无约束优化问题。将约束函数式（24f）改写为：

$$f(\beta,\gamma)=\left\lfloor\frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2}\right\rfloor-N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1}\le 0 \qquad (54)$$

因为$\pi_{\gamma-1}=\frac{U_2}{(P_{G,0}-1)a_0N_G}>0$，且$\pi_i=-a_i\pi_{\gamma-1}>0\ (i=0,\ldots\gamma-1)$所以$\pi_\gamma=1+\left(\sum_{i=0}^{\gamma-1}a_i\right)\cdot\frac{U_2}{(P_{G,0}-1)a_0N_G}<1$，而$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1$,所以若$\pi_\gamma>0$，就可以满足$0<\pi_i<1,(i=0,\ldots\gamma)$这个约束，因此罚函数中还需考虑$-\pi_\gamma<0$这个约束，于是我们的罚函数可以表示为：

$$g(\beta,\gamma)=T(\beta,\gamma)-\sigma\left[\max\left(0,f(\beta,\gamma)\right)+\max\left(0,-\pi_\gamma\right)\right] \qquad (55)$$

其中，σ——惩罚因子，取足够大的正数。当(β,γ)满足约束条件时，我们有$g(\beta,\gamma)=T(\beta,\gamma)$；当$(\beta,\gamma)$不满足约束条件时，我们有 $g(\beta,\gamma)=T(\beta,\gamma)-\sigma\left[\max\left(0,f(\beta,\gamma)\right)+\max\left(0,-\pi_\gamma\right)\right]$。上述罚函数表明$(\beta,\gamma)$离约束条件越远，惩罚越大，即罚函数在搜索到不可行点时，$g(\beta,\gamma)$会变得很小，目标函数值会变得很小。

基于以上分析，我们的带约束优化问题式（24）可以转化为下述无约束优化问题：

$$\max_{\beta,\gamma}\ g(\beta,\gamma) \qquad (56a)$$

$$\text{s.t.}\quad 0<\beta<1 \qquad (56b)$$

$$\gamma\in N^+,1\le\gamma\le\gamma^U \qquad (56c)$$

$$\Pi=\Pi P \qquad (56d)$$

$$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1 \qquad (56e)$$

（2）整型变量γ的处理

在我们的修正差分演化算法中，我们采用四舍五入取整法处理整型变量γ，即在差分演化算法的每次迭代中，搜索时我们将γ看作实数，但是在求平稳分布，$\aleph_{G,\gamma}$及目标函数$g(\beta,\gamma)$之前，对γ四舍五入取整。

（3）边界违反情况的处理

我们可以看出差分演化算法的变异操作本身不具有封闭性，变异个体可能存在边界违反的情况，即某分量的取值可能超出边界，因此当某一分量取值超出边界时，我们在其取值范围内随机生成一个数来代替该分量。

基于以上讨论，我们的修正的差分演化算法如表 2 所示。按照该算法我们就可以求得最优资源

分配比β^*及最优转发阈值γ^*。

表 2 修正的差分演化算法

输入：种群大小 ps，交叉概率 cp，变异因子 F，惩罚因子σ，迭代次数 L

种群初始化：按照式（50）生成第一代种群$x_m^{(1)},(m=1,2,...ps)$

For l=1 to L

For m=1 to ps

变异：对父代个体$x_m^{(l)}$按照式（51）生成变异个体$v_m^{(l)}$；

边界违反情况的处理；

交叉：对父代个体$x_m^{(l)}$按照式（52）生成临时个体$u_m^{(l)}$；

对整型变量¥四舍五入取整；

利用求解平稳分布的算法求解父代个体及临时个体的平稳分布；

将所求平稳分布分别代入式（55）求解$g\left(x_m^{(l)}\right)$与$g\left(u_m^{(l)}\right)$；

按照式（53）生成下一代个体$x_m^{(l+1)}$；

End

End

$$\beta^*=\frac{1}{ps}\sum_{m=1}^{ps}x_{m\ 1}^{(L)},\quad \gamma^*=\frac{1}{ps}\sum_{m=1}^{ps}x_{m\ 2}^{(L)}$$

输出：β^*，γ^*

6.仿真结果

（1）仿真参数设置如表 3 所示：

表 3 仿真参数设置

参数	值
MTCD 流量到达模型	均匀分布
MTCG 总数	20
可用 PA 数	54
所有 MTCD 到达所需总 RAO 数	2000
总资源块数 Q_M	3600
链路 1 传输一个数据包所需资源块数δ_1	20
链路 2 转发一个数据包所需资源块数δ_2	5
网关缓存大小上界¥	50
每个设备的最大重传次数	10

退避窗口所需总 RAO 数	4
种群大小 ps	40
变异因子 F	1
交叉概率 cp	0.6
惩罚因子σ	10^6
差分演化算法迭代次数 L	100
截取时间开始时隙	第 750 个 RAO
截取时间结束时隙	第 1500 个 RAO

在这一部分，我们通过仿真来评估我们所提方案的系统性能，参数的具体设计如表 3 所示。为了证明我们所提出的基于分组的随机接入与数据传输方案的性能优越性，我们用带有传统 ACB 的传统正交随机接入方案做以对比。

图 3 所示为 2 种方案下总服务时间随系统中每组 MTCD 数的变化曲线，这里总服务时间定义为系统服务完所有 MTCD 所需的总 RAO 数，所有设备被服务完指的是所有设备要么在最大传输次数内传输成功，要么由于超过最大重传次数而传输失败。可以看出 2 种方案下，总服务时间随每组 MTCD 数的增加而增加，但是本文分组方案的增长速度较慢，且本发明设计的方案相对于传统方案可以大大减少总服务时间。因为本发明考虑到 MTCD 数量巨大且单个数据包较小的特性，传统方案用于传输数据的资源较多，网关传输速率较高等原因，在传统方案中引入网关，设计了双跳 mMTC 网络架构，用马尔科夫链分析了网关缓存状态的平稳分布，并在此基础上对系统进行了优化，以最大化系统吞吐量，从而提升了系统性能，大大减少了总服务时间。

图 4 所示为 2 种方案下总吞吐量随系统每组 MTCD 数的变化曲线，这里总吞吐量定义为在最大传输次数内成功传输的 MTCD 总数，该图中分别画出了总服务时间内的总吞吐量及截取时间段内的总吞吐量。可以看出 2 种方案下，总服务时间内的总吞吐量相当，也就是说 2 种方案下，几乎所有设备都可以在最大重传次数内传输成功，但是由图 3 可以看出传统方案需要花费更多时间。另外，截取时间段内的总吞吐量在 2 种方案下有较大差异，随着每组 MTCD 数的增加，本发明的方案可以在截取时间段内服务更多设备，具体原因同图 3。

图 5 所示为 2 种方案下平均吞吐量随系统每组 MTCD 数的变化曲线，这里平均吞吐量定义为平均一个 RAO 所能服务的 MTCD 数，即在最大传输次数内成功接入的 MTCD 数与服务所需总 RAO 数的比值，该图中分别画出了总服务时间内的平均吞吐量及截取时间段内的平均吞吐量。可以看出 2 种方案下，总服务时间内及截取时间段内的平均吞吐量相当，但是本发明的方案较传统方案可以大大提高平均吞吐量。具体原因与图 3 类似。

图 6 所示为 2 种方案下成功接入概率随系统每组 MTCD 数的变化曲线，该图中分别画出了总服务时间内及截取时间段内的成功接入概率，这里成功接入概率定义为所定义时间段内接入成功的 MTCD 数与传输的总 MTCD 数的比值。可以看出 2 种方案下，总服务时间段内接入成功概率相当，但是截取时间段内本发明的方案成功接入概率更高。具体原因与图 3 类似。

图 7 所示为 2 种方案下成功设备的平均接入时延随系统每组 MTCD 数的变化曲线，这里平均接入时延定义为平均一个成功 MTCD 从初次激活到基站接收成功所需的 RAO 数。可以看出 2 种方案下，在总服务时间内，本发明的方案可以大大减少平均时延，在截取时间段内，本发明的方案同样也减少了成功设备的平均接入时延。具体原因与图 3 类似。

因此综上可知，本发明提出的基于分组的随机接入与数据传输方案更适用于 mMTC 网络，对于整个系统，可以大大提升吞吐量，减小系统总服务时间，对于每个 MTCD，可以减小平均接入时延，增加成功接入概率。

以上内容是对本发明进行的详细说明，不能认定本发明的仅限于此，对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单的推演或替换，都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定专利保护范围。

权 利 要 求 书

1、大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）在 mMTC 网络中，引入 MTC 网关 MTCG，让每个网关管理若干个设备，分别对应于一个 MTCD 组，将用于数据传输的资源按照修正差分演化算法所求的最优资源分配比β^*分为 2 部分：即链路 1 与链路 2，将链路 1 中的资源均分给每组，每组的资源按照 MTCD 传输一个数据包所需的资源块数划分为U_1个信道，根据修正差分演化算法所求的最优转发阈值γ^*及网关转发一个数据包所需的资源块数将链路 2 划分为U_2个信道；

（2）MTC 网关向组内激活设备广播类 ACB 因子，激活设备进行类 ACB 检测，通过类 ACB 检测的组内设备在U_1个正交信道中随机选择一个信道将数据包传输给相应的 MTC 网关；

（3）MTCG 检测U_1个正交信道，其中只有某个信道被一个设备选择时，MTCG 才能正确检测出对应的数据包，对于检测失败的数据包其对应设备进行均匀退避；

（4）网关根据缓存余量接收成功检测的数据包，若缓存余量大于等于检测成功的数据包数，则所有检测成功的数据包被网关成功接收并存储在缓存队列中，否则网关根据缓存余量大小在检测成功的数据包中随机选择若干个并存储在缓存队列中，使得缓存队列长度达到最优转发阈值γ^*；

（5）缓存队列长度达到最优转发阈值γ^*的 MTCG 向 BS 发起接入请求，通过基于竞争的随机接入四消息握手过程接入基站，接入成功的 MTCG 进行下一步，接入失败的 MTCG 在下一个随机接入机会再次发起接入请求；

（6）基站根据链路 2 的正交信道数随机选择接入成功的 MTCG 并分配信道供网关转发缓存中的数据包，若U_2大于等于接入成功的 MTCG 数，则所有接入成功的 MTCG 都可以成功转发数据包，否则基站在这些 MTCG 中随机选择U_2个并分配信道供相应网关在链路 2 中转发数据包，未获得链路 2 信道的 MTCG 在下一个随机接入机会再次发起接入请求。

2、根据权利要求 1 所述的大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，其特征在于，所述步骤（1）中最优资源分配比β^*和最优转发阈值γ^*，首先通过马尔可夫理论分析出网关缓存队列长度的状态转移概率矩阵，对网关缓存占有量的变化过程进行数学建模，得到每一个随机接入机会中发起接入请求的网关数，即 $N_{G,\gamma}=N_G\left[\sum_{j=\max(0,\gamma-U_1)}^{\gamma-1}\left(\sum_{i=\gamma-j}^{U_1}P_{G,i}\right)\pi_j+\pi_\gamma\right]$，$\pi_i,(i=0,1,\ldots\gamma)$表示系统达到平稳状态时网关缓存大小在每一 RAO 结束时刻为 i 的概率，N_G表示网关数，$P_{G,i}$（$i=0,1,2,\ldots,U_1$）表示一个 MTCG 在一个 RAO 成功检测 i（$i=0,1,2,\ldots,U_1$）个包的概率，从而得到每一个随机接入机会的吞吐量，即$T(\beta,\gamma)=N_{G,\gamma}\cdot P_s\cdot\gamma$，$P_s$表示网关成功转发的概率，结合资源分配比网关缓存上界以及平稳分布的条件构造吞吐量的优化问题，利用修正差分演化算法求得最优转发阈值γ^*和最优资源分配比β^*。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，其特征在于，所述的吞吐量的优化问题如下：

$$\max_{\beta,\gamma} \quad T(\beta,\gamma)=\left\lfloor \frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2} \right\rfloor\cdot\gamma \tag{24a}$$

$$\text{s.t.} \quad 0<\beta<1 \tag{24b}$$

$$\gamma\in \mathrm{N}^+, 1\le\gamma\le\gamma^U \tag{24c}$$

$$\boldsymbol{\Pi}^{\mathrm{T}}=\boldsymbol{\Pi}^{\mathrm{T}}\mathbf{P} \tag{24d}$$

$$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1,\ 0<\pi_i<1,(i=1,\ldots\gamma) \tag{24e}$$

$$\left\lfloor \frac{(1-\beta)Q_M}{\gamma\cdot\delta_2} \right\rfloor \le N_{G,\gamma}\left(1-\frac{1}{N_{PA}}\right)^{N_{G,\gamma}-1} \tag{24f}$$

Q_M 表示系统在一个随机接入机会中用于传输数据的总资源块数，δ_2 表示网关转发一个数据包所需的资源块数，γ^U 表示网关实际缓存上界，$\boldsymbol{\Pi}$ 表示系统的平稳分布，$\mathbf{P}$ 表示网关缓存占有量的转移概率矩阵，N_{PA} 表示前导码数。

4、根据权利要求 2 所述的大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，其特征在于，所述的修正差分演化算法是 1）利用罚函数将原优化问题转化为无约束优化问题，

$$\max_{\beta,\gamma} \quad \mathrm{g}(\beta,\gamma) \tag{56a}$$

$$\text{s.t.} \quad 0<\beta<1 \tag{56b}$$

$$\gamma\in \mathrm{N}^+, 1\le\gamma\le\gamma^U \tag{56c}$$

$$\Pi=\Pi\mathrm{P} \tag{56d}$$

$$\sum_{i=0}^{\gamma}\pi_i=1 \tag{56e}$$

其中，$\mathrm{g}(\beta,\gamma)$ 表示罚函数；2）在算法迭代过程中，将整型变量转发阈值 γ 看作实型变量再求目标函数之前将实型变量 γ 四舍五入取整，3）由于差分演化算法变异操作不封闭，当通过变异操作得到的资源分配比 β 和转发阈值 γ 超出取值范围时，在取值范围内随机生成以取代超出边界的变量。

5、根据权利要求 4 所述的大规模 MTC 网络中一种基于分组的随机接入与数据传输方法，其特征在于，所述罚函数 $g(\beta,\gamma)=T(\beta,\gamma)-\sigma\left[\max\left(0,f(\beta,\gamma)\right)+\max\left(0,-\pi_\gamma\right)\right]$，其中 σ 为惩罚因子。

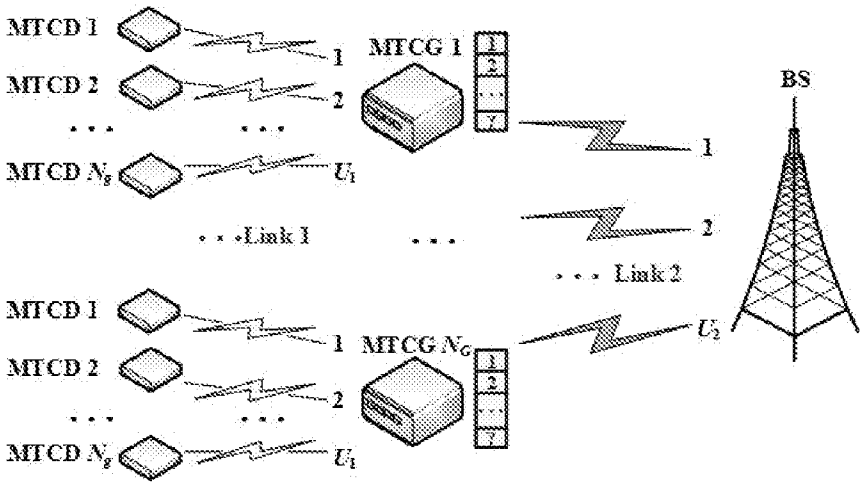

MTCD 1
MTCD 2
MTCD N_1
1
2
U_1
MTCG 1
BS
Link 1
Link 2
MTCD 1
MTCD 2
MTCD N_1
MTCG N_G
U_2

图 1

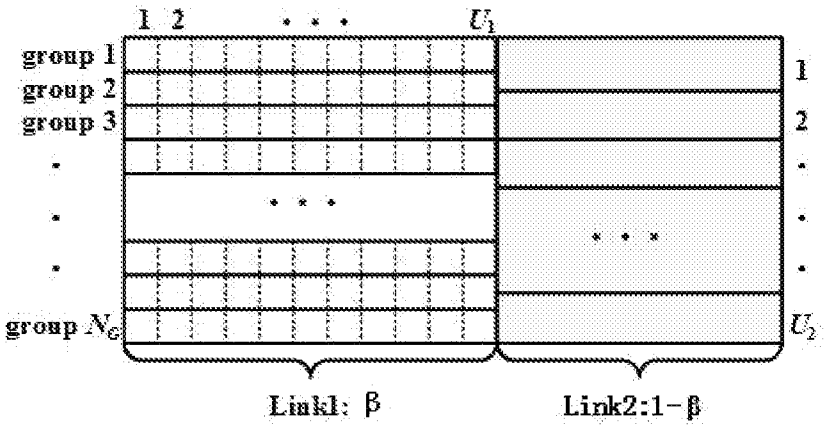

1 2
U_1
group 1
group 2
group 3
group N_G
U_2
Link1: β
Link2:1−β

图 2

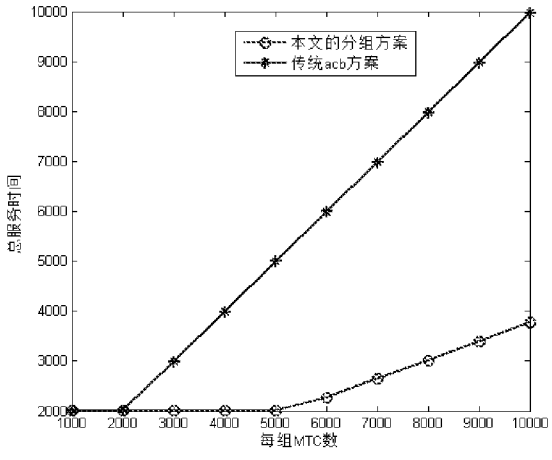

本文的分组方案
传统acb方案
总服务时间
每组MTC数

图 3

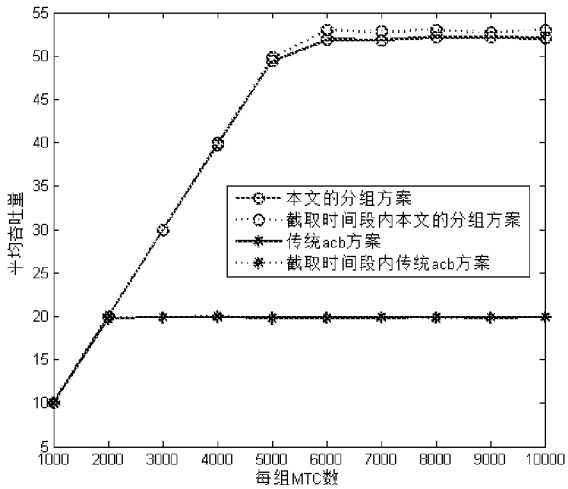

本文的分组方案
截取时间段内本文的分组方案
传统acb方案
截取时间段内传统acb方案
每组MTC数

图 4

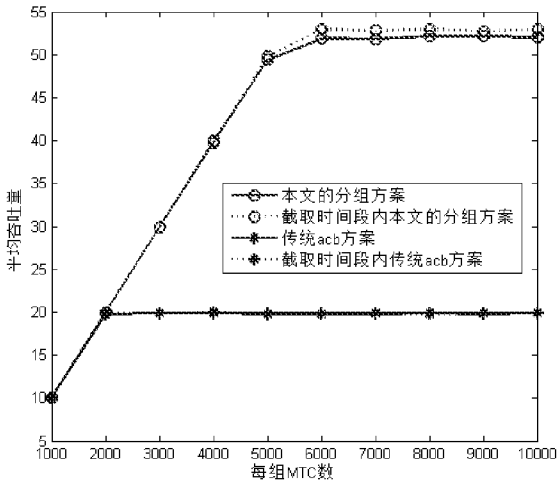

本文的分组方案
截取时间段内本文的分组方案
传统acb方案
截取时间段内传统acb方案
平均吞吐量
每组MTC数

图 5

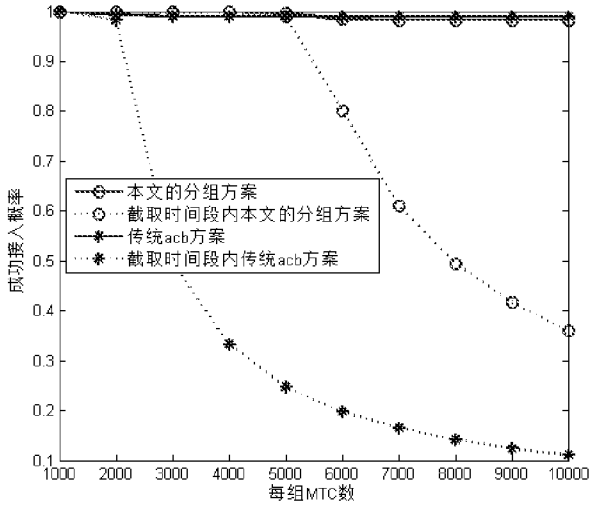

本文的分组方案
截取时间段内本文的分组方案
传统acb方案
截取时间段内传统acb方案
成功接入概率
每组MTC数

图 6

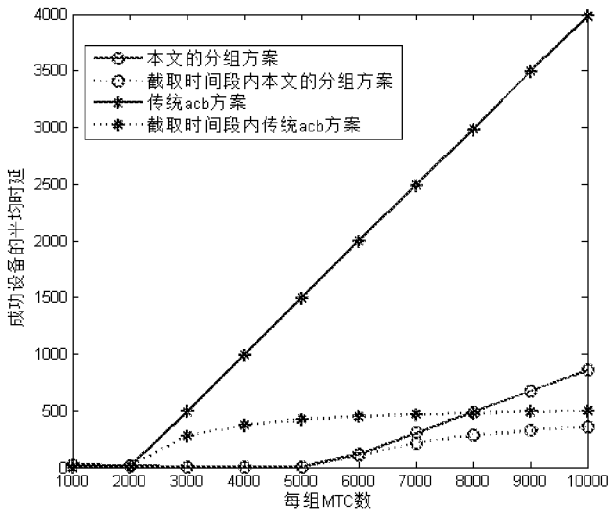

本文的分组方案
截取时间段内本文的分组方案
传统acb方案
截取时间段内传统acb方案
成功设备的平均时延
每组MTC数

图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/081475

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04W 4/70(2018.01)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; H04L

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)

WPI; EPODOC; CNPAT; CNKI; IEEE: 基站, 网关, 差分修正演化, 阈值, 转发, 大规模, 机器类通信, 门限, MTCG, ACB factor, MTCD, mMTC, gateway, ACB, massive

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108282821 A (CHONGQING UNIVERSITY) 13 July 2018 (2018-07-13) claims 1 and 4, description, paragraph 0047, and figure 2	1-5
A	CN 109218004 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS) 15 January 2019 (2019-01-15) entire document	1-5
A	CN 106851732 A (INTEL CORPORATION) 13 June 2017 (2017-06-13) entire document	1-5
A	WO 2018234851 A1 (TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSONPUBL) 27 December 2018 (2018-12-27) entire document	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"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
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 November 2019	**27 November 2019**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088** **China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/081475

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 108282821 A	13 July 2018	None	
CN 109218004 A	15 January 2019	None	
CN 106851732 A	13 June 2017	US 2012039253 A1	16 February 2012
		CN 102355697 A	15 February 2012
WO 2018234851 A1	27 December 2018	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/081475

A. 主题的分类

H04W 4/70(2018.01)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)

H04W; H04L

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））

WPI;EPODOC;CNPAT;CNKI;IEEE:基站，网关，差分修正演化，阈值，转发，大规模，机器类通信，门限，MTCG，ACB factor，MTCD，mMTC，gateway，ACB，massive

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
A	CN 108282821 A (重庆大学) 2018年 7月 13日 (2018-07-13) 权利要求1，4、说明书第0047段、附图2	1-5
A	CN 109218004 A (南京邮电大学) 2019年 1月 15日 (2019-01-15) 全文	1-5
A	CN 106851732 A (英特尔公司) 2017年 6月 13日 (2017-06-13) 全文	1-5
A	WO 2018234851 A1 (TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSONPUBL) 2018年 12月 27日 (2018-12-27) 全文	1-5

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2019年 11月 11日	2019年 11月 27日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 许洪岩 电话号码 86-(10)-53961670

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/081475

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	108282821	A	2018年 7月 13日	无			
CN	109218004	A	2019年 1月 15日	无			
CN	106851732	A	2017年 6月 13日	US	2012039253	A1	2012年 2月 16日
				CN	102355697	A	2012年 2月 15日
WO	2018234851	A1	2018年 12月 27日	无			