



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114143757 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 31

(21) 申请号 202210118139.0

(22) 申请日 2022.02.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114143757 A

(43) 申请公布日 2022.03.04

(73) 专利权人 南京邮电大学
地址 210023 江苏省南京市栖霞区文苑路9号

(72) 发明人 齐婷 刘睿杰 潘文显 吕斌

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224
专利代理师 朱远枫

(51) Int. Cl.

H04W 4/70 (2018.01)

H04W 74/08 (2009.01)

(56) 对比文件

CN 108156595 A, 2018.06.12

CN 109890085 A, 2019.06.14

CN 110430613 A, 2019.11.08

CN 107040875 A, 2017.08.11

CN 113490277 A, 2021.10.08

王晓春 等. 一种基于TA值比较的机器通信设备随机接入机制.《信息传输与接入技术》.2018,

张军 等. 机器类设备基于不同时延需求分组的随机接入方法.《电讯技术》.2019,

审查员 燕璐

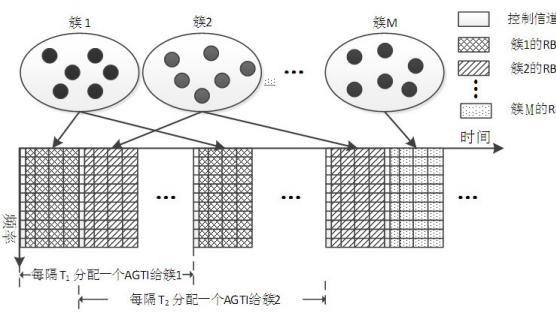
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

时延保障的海量机器类通信接入控制方法和系统

(57) 摘要

本发明提供了时延保障的海量机器类通信接入控制方法和系统,在按时延要求进行分簇的基础上,通过联合优化各簇的接入时间间隔以及接入等级拦截校验因子,在保障接入时延和传输时延的条件下最大化系统的接入效率,从而有效降低海量接入导致的冲突,提高接入效率,保障多样化的时延需求。



1. 时延保障的海量机器类通信接入控制方法, 其特征在于, 包括:

获取各机器类设备的时延要求, 将时延要求相同的设备分在同一个簇中;

根据设定的各簇允许接入的时间段内随机接入机会数量和分配的无线时频资源块, 以系统的接入效率最大为目标, 结合传输时延和接入时延约束确定优化问题, 对优化问题进行求解获得优化后的各簇允许接入的时间段之间的时间间隔, 以及优化后的接入等级拦截校验因子, 以使得簇内预备接入的设备根据各簇允许接入的时间段之间的时间间隔, 确定其所在簇的允许接入时间段的起始时刻并在所述起始时刻根据优化后的校验因子进行接入等级拦截校验, 校验通过则随机选择随机接入机会向基站发送接入请求;

所述优化问题表示为:

$$\begin{aligned} & \max_{\{T_m\}, \{\theta_m\}} E \\ \text{s.t. } & T_m^0 \leq T_m^{req} \quad \forall m \\ & -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m, \\ & \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+ \end{aligned}$$

其中 E 为系统的接入效率, T_m 为第 m 个簇允许接入的时间段之间的时间间隔, θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子, T_m^0 为第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟时间, d_m 为第 m 个簇最大可容忍端到端数据传输时延, T_m^{req} 为第 m 个簇的接入时延要求, ε_m 表示第 m 个簇延迟时间超过 d_m 的能够接受概率, α_m 为设定的第 m 个簇时延要求的正常数, T_0 为允许接入的各时间段内的传输时间, M 为簇的总数, \mathbb{N}^+ 表示正整数, R_m 为第 m 个簇中设备的数据传输速率。

2. 根据权利要求1所述的时延保障的海量机器类通信接入控制方法, 其特征在于, 系统的接入效率 E 为各簇的接入效率之和, 计算公式如下:

$$E = \sum_{m=1}^M \frac{C_m P_m^{acc}}{L},$$

其中 M 为簇的总数, C_m 为第 m 个簇在当前时刻预备接入的设备数, P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率, L 为每个簇在其允许接入时间段内分配的随机接入机会数量。

3. 根据权利要求2所述的时延保障的海量机器类通信接入控制方法, 其特征在于, 第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率 P_m^{acc} 的计算方法如下:

$$P_m^{acc} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1} \theta_m,$$

其中 θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子。

4. 根据权利要求1所述的时延保障的海量机器类通信接入控制方法, 其特征在于, 第 m

个簇内设备的平均随机接入延迟 T_m^0 表示如下：

$$T_m^0 = \frac{T_m}{P_m^{acc}},$$

其中 P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率。

5. 根据权利要求1所述的时延保障的海量机器类通信接入控制方法, 其特征在于, 第 m 个簇时延要求的正常数 α_m 的确定方法如下：

$$\alpha_m = \ln \left(1 - \frac{\ln \varepsilon_m}{\lambda_m d_m} \right),$$

其中, λ_m 为第 m 个簇总到达率。

6. 时延保障的海量机器类通信接入控制系统, 其特征在于, 包括分簇模块、资源分配模块和优化问题建立求解模块；

所述分簇模块用于获取各机器类设备的时延要求, 将时延要求相同的设备分在同一个簇中；

所述资源分配模块, 用于设置各簇允许接入的各时间段, 并在各簇允许接入的时间段内为其分配设定数量的用于接入请求的随机接入机会和用于数据传输的无线时频资源块；

所述优化问题建立求解模块, 用于根据资源分配模块设定的各簇允许接入的时间段内随机接入机会数量和分配的无线时频资源块, 以系统的接入效率最大为目标, 结合传输时延和接入时延约束确定优化问题, 对优化问题进行求解获得优化后的各簇允许接入的时间段之间的时间间隔, 以及优化后的接入等级拦截校验因子, 以使得簇内预备接入的设备根据各簇允许接入的时间段之间的时间间隔, 确定其所在簇的允许接入时间段的起始时刻并在所述起始时刻根据优化后的校验因子进行接入等级拦截校验, 校验通过则随机选择随机接入机会向基站发送接入请求；

所述优化问题建立求解模块建立的优化问题表示为：

$$\begin{aligned} & \max_{\{T_m\}, \{\theta_m\}} E \\ \text{s.t. } & T_m^0 \leq T_m^{req} \quad \forall m \\ & -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m, \\ & \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+ \end{aligned}$$

其中 E 为系统的接入效率, T_m 为第 m 个簇允许接入的时间段之间的时间间隔, θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子, T_m^0 为第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟时间, d_m 为第 m 个簇最大可容忍端到端数据传输时延, T_m^{req} 为第 m 个簇的接入时延要求, ε_m 表示第 m 个簇延迟时间超过 d_m 的能够接受概率, α_m 为设定的第 m 个簇时延要求的正常数, T_0 为允许接入的各

时间段内的传输时间, M 为簇的总数, \mathbb{N}^+ 表示正整数, R_m 为第 m 个簇中设备的数据传输速率。

7. 根据权利要求6所述的时延保障的海量机器类通信接入控制系统, 其特征在于, 系统的接入效率 E 为各簇的接入效率之和, 计算公式如下:

$$E = \sum_{m=1}^M \frac{C_m P_m^{acc}}{L},$$

其中 M 为簇的总数, C_m 为第 m 个簇在当前时刻预备接入的预备接入的设备数, P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率, L 为每个簇在其允许接入时间段内分配的随机接入机会数量。

8. 根据权利要求7所述的时延保障的海量机器类通信接入控制系统, 其特征在于, 第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率 P_m^{acc} 的计算方法如下:

$$P_m^{acc} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1} \theta_m,$$

其中 θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子。

时延保障的海量机器类通信接入控制方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及机器类通信系统领域,具体是涉及时延保障的海量机器类通信接入控制方法和系统。

背景技术

[0002] 无线通信正在朝着万物互联的美好愿景发展,不断涌现的各类新业务和应用场景,要求未来无线通信能实现人与物、物与物的智能互联。机器类通信(machine-type communications, MTC)将我们日常生活和工业过程中的各种机器和设备连接在一个通信网络中,MTC正成为未来通信系统的重要组成部分。MTC中的海量设备和广泛的应用业务的多样化服务质量(Quality of Service, QoS)要求是MTC接入网络面临的关键挑战之一。为了应对这些挑战,迫切需要探索面向海量MTC网络的新的接入方法。

[0003] 为了缓解海量MTC设备带来的接入拥塞问题,提高接入效率,无线资源管理和接入控制是关键技术手段。通过退避策略、接入等级拦截、随机接入机会分配等技术,可以有效缓解海量设备同时接入带来的冲突问题,能够提高接入效率和网络吞吐量,实现动态的接入控制。为了满足异构MTC网络中多样化QoS要求,根据QoS特性的分组或分簇接入管理方法,根据时延要求调整每个簇的允许接入时间可以满足不同簇的时延要求。

[0004] 现有MTC网络的接入方法表明按照QoS要求对海量设备进行分簇接入管理是有效的,但在分簇接入管理和退避策略设计上,仍难以兼顾多方面的QoS要求,例如现有方法通常无法同时保障接入时延和传输时延。

发明内容

[0005] 现有MTC网络的分簇接入方法通常无法同时保障接入时延和传输时延,基于此,本发明设计同时满足接入时延和传输时延要求的高效率接入控制方法。

[0006] 为实现上述技术目的,本发明采用以下技术方案。

[0007] 一方面,本发明提供时延保障的海量机器类通信接入控制方法,包括:获取各机器类设备的时延要求,将时延要求相同的设备分在同一个簇中;

[0008] 根据设定的各簇允许接入的时间段内随机接入机会数量和分配的无线时频资源块,以系统的接入效率最大为目标,结合传输时延和接入时延约束确定优化问题,对优化问题进行求解获得优化后的各簇允许接入的时间段之间的时间间隔,以及优化后的接入等级拦截校验因子,以使得簇内预备接入的设备根据各簇允许接入的时间段之间的时间间隔,确定其所在簇的允许接入时间段的起始时刻并在所述起始时刻根据优化后的校验因子进行接入等级拦截校验,校验通过则随机选择随机接入机会向基站发送接入请求。

[0009] 进一步地,所述优化问题表示为:

$$\begin{aligned}
& \max_{\{T_m\}, \{\theta_m\}} E \\
& s.t. \quad T_m^0 \leq T_m^{req} \quad \forall m \\
[0010] \quad & -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m, \\
& \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+
\end{aligned}$$

[0011] 其中 E 为系统的接入效率, T_m 为第 m 个簇允许接入的时间段之间的时间间隔, θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子, T_m^0 为第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟, d_m 为第 m 个簇最大可容忍端到端数据传输时延, T_m^{req} 为第 m 个簇的接入时延要求, ε_m 表示第 m 个簇延迟超过 d_m 的能够接受概率, α_m 为设定的第 m 个簇时延要求的正常数, T_0 为允许接入的各时间段内的传输时间, M 为簇的总数, \mathbb{N}^+ 表示正整数, R_m 为第 m 个簇中设备的数据传输速率。

[0012] 进一步地,系统的接入效率 E 为各簇的接入效率之和,计算公式如下:

$$[0013] \quad E = \sum_{m=1}^M \frac{C_m P_m^{acc}}{L},$$

[0014] 其中 M 为簇的总数, C_m 为第 m 个簇在当前时刻预备接入的预备接入的设备数, P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率, L 为每个簇在其允许接入时间段内分配的随机接入机会数量。

[0015] 再进一步地,第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率 P_m^{acc} 的计算方法如下:

$$[0016] \quad P_m^{acc} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1} \theta_m,$$

[0017] 其中 θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子。

[0018] 进一步地,第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟 T_m^0 表示如下:

$$[0019] \quad T_m^0 = \frac{T_m}{P_m^{acc}},$$

[0020] 其中 P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率。

[0021] 进一步地,第 m 个簇时延要求的正常数 α_m 的确定方法如下:

$$[0022] \quad \alpha_m = \ln \left(1 - \frac{\ln \varepsilon_m}{\lambda_m d_m}\right),$$

[0023] 其中, λ_m 为第 m 个簇总到达率。

[0024] 第二方面,本发明提供了时延保障的海量机器类通信接入控制系统,包括分簇模块、资源分配模块和优化问题建立求解模块;

[0025] 所述分簇模块用于获取各机器类设备的时延要求,将时延要求相同的设备分在同一个簇中;

[0026] 所述资源分配模块,用于设置各簇允许接入的各时间段,并在各簇允许接入的时间段内为其分配设定数量的用于接入请求的随机接入机会和用于数据传输的无线时频资源块

[0027] 所述优化问题建立求解模块,用于根据资源分配模块设定的各簇允许接入的时间段内的随机接入机会数量和分配的无线时频资源块,以系统的接入效率最大为目标,结合传输时延和接入时延约束确定优化问题,对优化问题进行求解获得优化后的各簇允许接入的时间段之间的时间间隔,以及优化后的接入等级拦截校验因子,以使得簇内预备接入的设备根据各簇允许接入的时间段之间的时间间隔,确定其所在簇的允许接入时间段的起始时刻并在所述起始时刻根据优化后的校验因子进行接入等级拦截校验,校验通过则随机选择随机接入机会向基站发送接入请求。

[0028] 进一步地,所述优化问题建立求解模块建立的优化问题表示为:

$$\begin{aligned}
 & \max_{\{T_m\}, \{\theta_m\}} E \\
 & s.t. \quad T_m^0 \leq T_m^{req} \quad \forall m \\
 & -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m, \\
 & \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+
 \end{aligned}$$

[0030] 其中 E 为系统的接入效率, T_m 为第 m 个簇允许接入的时间段之间的时间间隔, θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子, T_m^0 为第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟, d_m 为第 m 个簇最大可容忍端到端数据传输时延, T_m^{req} 为第 m 个簇的接入时延要求, ε_m 表示第 m 个簇延迟超过 d_m 的能够接受概率, α_m 为设定的第 m 个簇时延需求水平的正常数, T_0 为允许接入的各时间段内的传输时间, M 为簇的总数, \mathbb{N}^+ 表示正整数, R_m 为第 m 个簇中设备的数据传输速率。

[0031] 再进一步地,系统的接入效率 E 为各簇的接入效率之和,计算公式如下:

$$E = \sum_{m=1}^M \frac{C_m P_m^{acc}}{L},$$

[0033] 其中 M 为簇的总数, C_m 为第 m 个簇在当前时刻预备接入的预备接入的设备数, P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率, L 为每个簇在其允许接入时间段内分配的随机接入机会数量。

[0034] 再进一步地,第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率 P_m^{acc} 的计算方法如下:

$$[0035] \quad P_m^{acc} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1} \theta_m,$$

[0036] 其中 θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子。

[0037] 本发明所取得的有益技术效果：本发明提出的时延保障的海量MTC网络高效接入控制方法，通过联合调整各簇的接入时间间隔和接入等级拦截校验因子，在保障接入和传输延迟的要求的条件下，能够最大化随机接入效率，实现海量MTC设备高效的接入控制，保障服务质量。

附图说明

[0038] 图1为本发明实施例中设备接入控制示意图；

[0039] 图2为本发明实施例中每个簇的被允许接入时间段分配示意图；

[0040] 图3为采用本发明获得的系统接入效率和其他技术比较曲线。

具体实施方式

[0041] 一种时延保障的海量机器通信接入控制方法，设备接入示意图如图1所示，包括以下步骤：

[0042] 步骤S1、对具有不同时延需求的海量机器类设备进行分簇，将时延要求相同的设备分在同一个簇中，所述簇共有 M 个，其中第 m 个簇的接入时延要求记为 T_m^{req} ，传输时延由两个参数 (d_m, ε_m) 定义，其中 d_m 为第 m 个簇最大可容忍端到端数据传输时延， ε_m 表示第 m 个簇延迟时间超过 d_m 的能够接受概率。

[0043] 步骤S2、所述的每个簇在其允许接入时间段(access grant time interval, AGTI)内被分配一定数量的用于接入请求的随机接入机会(Random Access Opportunity, RAO)和用于数据传输的无线时频资源块(resource blocks, RB)，记每个簇分配的RAO数量为 L ，每个簇在AGTI内的传输时间为 T_0 。记第 m 个簇在当前时刻活跃设备(即预备接入的设备)数为 C_m ，其AGTI的时间间隔为 T_m ，每个簇将上次AGTI的起始时刻加上基站发送的AGTI的时间间隔得到下次AGTI的起始时刻。簇内的活跃设备(有数据传输需求)在其簇的AGTI首先进行接入等级拦截(Access Class Barring, ACB)校验，接入等级拦截校验因子为 $\theta_m \in (0, 1)$ ，若校验通过则随机选择随机接入机会向基站发送接入请求。

[0044] 进一步的，本实施例中，所述RAO由一个前导和一个物理随机接入信道(physical random access channels, PRACH)组成，RAO数量等于前导数与PRACH数的乘积。

[0045] 所述ACB校验具体步骤如下：

[0046] 步骤a) 接收基站广播的所在簇(第 m 个簇)的ACB校验因子 θ_m 。

[0047] 步骤b) 活跃设备(即预备接入的设备)随机产生一个 $[0, 1]$ 区间的随机数 a 。

[0048] 步骤c) 将随机数 a 与 θ_m 进行比较，若 $a \leq \theta_m$ ，则通过ACB校验；若 $a > \theta_m$ ，则校验不通过，等待下一个AGTI。

[0049] 所述步骤S2中，每个簇将上次AGTI的起始时刻加上步骤S5中基站发送的AGTI的时间间隔得到下次AGTI的起始时刻。

[0050] 有数据传输需求的设备在其所在簇的AGTI内进行ACB校验,校验通过后随机选择RA0向基站发送接入请求。

[0051] 步骤S3、第 m 个簇的随机接入效率 E_m 定义为每个RA0能够成功接入的设备数量,即

$$[0052] \quad E_m = \frac{C_m P_m^{acc}}{L},$$

[0053] 其中 P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过ACB校验并成功发送接入请求的概率,其计算式为

$$[0054] \quad P_m^{acc} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1} \theta_m。$$

[0055] 系统的接入效率 E 为各簇的接入效率之和,表示为

$$[0056] \quad E = \sum_{m=1}^M C_m \theta_m \left(\frac{1}{L}\right) \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1}。$$

[0057] 步骤S4、根据所述第 m 个簇允许接入的时间段之间的时间间隔为 T_m ,记第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟为 T_m^0 ,表达式为

$$[0058] \quad T_m^0 = \sum_{r=0}^{\infty} T_m (r+1) P_m^{acc} (1 - P_m^{acc})^r = \frac{T_m}{P_m^{acc}},$$

[0059] 记第 m 个簇的传输时延为 D_m ,其超过步骤S1所述 d_m 的概率为

$$[0060] \quad \Pr\{D_m > d_m\} \approx \exp\left(-\frac{T_0}{T_m} \alpha_m R_m d_m\right),$$

[0061] 其中 α_m 为决定时延需求水平的正常数也就是设定的第 m 个簇时延要求的正常数, R_m 为第 m 个簇中设备的数据传输速率。由此,步骤S1所述传输时延要求表示为 $\Pr\{D_m > d_m\} \leq \varepsilon_m$,由此可得传输时延要求等价

$$[0062] \quad -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m。$$

[0063] 进一步地,决定时延需求水平的正常数 α_m 与机器类通信业务到达分布和到达率有关,当业务到达服从泊松分布,簇的总到达率为 λ_m 时, α_m 的表达式为:

$$[0064] \quad \alpha_m = \ln\left(1 - \frac{\ln \varepsilon_m}{\lambda_m d_m}\right)。$$

[0065] 簇的总到达率 λ_m 与该簇成功接入的设备数成正比,因此 $\lambda_m = \bar{\lambda}_m C_m P_m^{acc}$,其中 $\bar{\lambda}_m$ 为该簇中平均每个设备的数据到达率。

[0066] 步骤S5、在满足接入时延和传输时延要求的条件下,优化所有簇的AGTI的时间间

隔 $\{T_m\}$ 和ACB校验因子 $\{\theta_m\}$,以最大化系统接入效率,该优化问题表示为

$$\begin{aligned}
 P1: \quad & \max_{\{T_m\}, \{\theta_m\}} E \\
 s.t. \quad & T_m^0 \leq T_m^{req} \quad \forall m \\
 [0067] \quad & -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m, \\
 & \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+
 \end{aligned}$$

[0068] 其中 \mathbb{N}^+ 表示正整数。基站端求解该优化问题,将优化的AGTI的时间间隔和ACB校验因子分发给各簇中所有设备,用于接入控制。

[0069] 本实施例该优化问题求解步骤如下:

[0070] 步骤a)为每个簇初始化 $P_m^{acc(1)}$ 并设置最大迭代次数为 $I, i=1$ 。

[0071] 步骤b)给定 $\{P_m^{acc(i)}\}$,令 $P_m^{acc} = P_m^{acc(i)}$,将原优化问题P1转化为

$$\begin{aligned}
 [0072] \quad & \max_{\{T_m\}} \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \\
 s.t. \quad & T_m \leq T_m^{req} P_m^{acc} \quad \forall m \\
 & T_m \leq -T_0 R_m \frac{\alpha_m d_m}{\ln \varepsilon_m} \quad \forall m, \\
 & \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+
 \end{aligned}$$

[0073] 定义 $n_m = \frac{T_m}{T_0}$ 为第 m 个簇的接入周期,定义 $R_m^{\min} = -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m}$ 为满足传输时延要求的最小速率,上述问题进一步转化为问题P2:

$$\begin{aligned}
 P2: \quad & \max_{\{n_m\}} \sum_{m=1}^M \frac{1}{n_m} \\
 [0074] \quad & s.t. \quad 1 < n_m \leq \min \left\{ \frac{T_m^{req} P_m^{acc}}{T_0}, \frac{R_m}{R_m^{\min}} \right\} \quad \forall m, \\
 & \sum_{m=1}^M \frac{1}{n_m} \leq 1, n_m \in \mathbb{N}^+
 \end{aligned}$$

[0075] 利用遗传算法求解该问题,得到 $n_m^{(i)}$,计算当前最优的 $T_m^{(i)} = n_m^{(i)} T_0$ 。

[0076] 步骤c) 给定 $\{T_m^{(i)}\}$, 令 $T_m = T_m^{(i)}$, 用优化变量 $\{P_m^{acc}\}$ 替换 $\{\theta_m\}$, 将原优化问题P1转化为问题P3:

$$P3: \max_{\{P_m^{acc}\}} \sum_{m=1}^M \frac{C_m}{L} P_m^{acc}$$

$$[0077] \quad s.t. \quad \frac{T_m}{P_m^{acc}} \leq T_m^{req} \quad \forall m, \\ -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m$$

[0078] 问题P3是关于 $\{P_m^{acc}\}$ 的线性优化问题, 为求解该问题, 通过求 P_m^{acc} 对 θ_m 的导数并令它等于零得到驻点:

$$\tilde{\theta}_m = \frac{1}{C_m \log \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{-1}}$$

$$[0079] \quad \tilde{P}_m^{acc} = \frac{1}{e C_m \left(1 - \frac{1}{L}\right) \log \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{-1}},$$

[0080] 另外, 由问题P3的约束条件得到 $P_m^{acc} \geq \frac{T_m}{T_m^{req}} \triangleq P_m^L$, 且

$P_m^{acc} \leq -\frac{\ln \varepsilon_m}{\bar{\lambda}_m C_m d_m (\exp(\phi_m) - 1)} \triangleq P_m^U$, 其中符号 \triangleq 表示定义为。由此可求解出问题P3的最优解为

$$[0081] \quad P_m^{acc*} = \begin{cases} \tilde{P}_m^{acc} & \tilde{P}_m^{acc} \in [P_m^L, P_m^U] \& \tilde{\theta}_m \leq 1 \\ P_m^U & \tilde{P}_m^{acc} > P_m^U \& \theta_m' \leq 1 \\ \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m - 1} & \tilde{P}_m^{acc} \in [P_m^L, P_m^U] \& \tilde{\theta}_m > 1 \\ & \text{或 } \tilde{P}_m^{acc} > P_m^U \& \theta_m' > 1 \end{cases},$$

[0082] 其中 θ_m' 是方程 $\theta_m' \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m' - 1} = P_m^U$ 的解。因此根据 P_m^{acc} 的当前迭代最优解确定最

优ACB因子为: 当 $P_m^{acc*} = \tilde{P}_m^{acc}$, 令 $P_m^{acc(i+1)} = \tilde{P}_m^{acc}$, $\theta_m^{(i+1)} = \tilde{\theta}_m$; 当 $P_m^{acc*} = P_m^U$, 令

$$P_m^{acc(i+1)} = P_m^U, \theta_m^{(i+1)} = \theta_m'; \text{当 } P_m^{acc*} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m-1}, \text{令 } P_m^{acc(i+1)} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m-1}, \theta_m^{(i+1)} = 1。$$

[0083] 步骤d) 迭代次数加1, 即 $i = i+1$; 当 $i < I$, 则返回步骤b), 否则迭代结束, 最优解即为 $T_m^* = T_m^{(i)}, \theta_m^* = \theta_m^{(i)}$ 。

[0084] 假设根据时延要求, MTC设备被分入三个簇, 即簇的数目 $M=3$ 。 $T_0=1$, RAO数量 $L=12$, 各簇的参数如表1所示:

[0085] 表1 各簇的参数表

| 参数 | 簇 1 | 簇 2 | 簇 3 |
|----------------------------------|------|------|-----|
| 接入时延要求 T_m (ms) | 10 | 20 | 30 |
| 最大可容忍传输时延 d_m (ms) | 1 | 10 | 100 |
| [0086] 可接受时延违背概率 ε_m | 0.01 | 0.05 | 0.1 |
| 数据传输速率 R_m (Kbps) | 10 | 40 | 90 |
| 活跃设备数 C_m | 5 | 10 | 20 |
| 数据到达率 $\bar{\lambda}_m$ (Kbps) | 0.5 | 1 | 1.5 |

[0087] 根据实施例求解方法求得最优解: $T_1^* = 2, T_2^* = 4, T_3^* = 4, \theta_1^* = 1, \theta_2^* = 1, \theta_3^* = 0.5746$ 。基站将该接入控制信息分发给各簇, 各簇的AGTI分配如图2所示, 具体而言, 按以下规则进行接入:

[0088] 簇1的AGTI的时间间隔为2, 簇1的设备允许接入时间段为: 0-1, 2-3, 4-5, 6-7, ……因 $\theta_1^* = 1$, 簇1的活跃设备直接通过ACB校验, 在12个RAO中随机选择一个向基站发送接入请求。

[0089] 簇2的AGTI的时间间隔为4, 簇2的设备允许接入时间段为: 1-2, 5-6, 9-10, 13-14, ……因 $\theta_2^* = 1$, 簇2的活跃设备直接通过ACB校验, 在12个RAO中随机选择一个向基站发送接入请求。

[0090] 簇3的AGTI的时间间隔为4, 簇3的设备允许接入时间段为: 3-4, 7-8, 11-12, 15-16, ……因 $\theta_3^* = 0.5746$, 簇3的活跃设备随机产生一个0~1的随机数 a , 若 $a \leq \theta_3^*$, 则通过ACB校验, 在12个RAO中随机选择一个向基站发送接入请求; 若 $a > \theta_3^*$, 则等待直到簇3的下一个AGTI。

[0091] 如图3所示, 令实施例一中RAO数量 $L=30$, 活跃设备数 $C=C_1=C_2=C_3$, 接入效率 E 随接入

活跃设备数 C 的变化曲线,可以看出相比于大规模接入管理(MAM)和基于有效带宽的周期调度(EBBPS)这两种算法(对于MAM,AGTI时间间隔反比于数据到达率,即 $T_m \sim 1/\bar{\lambda}_m$;对于EBBPS,AGTI时间间隔反比于最小速率,即 $T_m \sim 1/R_m^{\min}$),本发明提出的接入控制方法在保障时延要求的条件下,有效地提高了接入效率。

[0092] 本发明提供的方法对具有不同时延要求的海量MTC设备进行分簇,在此基础上,联合调整簇的接入时间间隔和ACB因子,以最大化随机接入效率,同时保障接入和传输时延的要求。仿真结果表明了该方法在接入效率和时延方面的优越性。

[0093] 基于同一个发明构思,本发明实施例还提供了时延保障的海量机器类通信接入控制系统,包括分簇模块、资源分配模块和优化问题建立求解模块;

[0094] 所述分簇模块用于获取各机器类设备的时延要求,将时延要求相同的设备分在同一个簇中;

[0095] 所述资源分配模块,用于设置各簇被允许接入的各时间段,并在各簇被允许接入的时间段内为其分配设定数量的用于接入请求的随机接入机会和用于数据传输的无线时频资源块

[0096] 所述优化问题建立求解模块,用于根据资源分配模块设定的各簇被允许接入的时间段内的随机接入机会数量和被分配的无线时频资源块,以系统的接入效率最大为目标,结合传输时延和接入时延约束确定优化问题,对优化问题进行求解获得优化后的各簇被允许接入的时间段之间的时间间隔,以及优化后的接入等级拦截校验因子,以使得簇内预备接入的设备根据各簇被允许接入的时间段之间的时间间隔,确定其所在簇的允许接入时间段的起始时刻并在所述起始时刻根据优化后的校验因子进行接入等级拦截校验,校验通过则随机选择随机接入机会向基站发送接入请求。

[0097] 本实施例中,所述优化问题建立求解模块建立的优化问题表示为:

$$\begin{aligned}
 & \max_{\{T_m\}, \{\theta_m\}} E \\
 & s.t. \quad T_m^0 \leq T_m^{req} \quad \forall m \\
 & -\frac{\ln \varepsilon_m}{\alpha_m d_m} \leq \frac{T_0}{T_m} R_m \quad \forall m \\
 & \sum_{m=1}^M \frac{T_0}{T_m} \leq 1, \frac{T_0}{T_m} \in \mathbb{N}^+
 \end{aligned}$$

[0098]

[0099] 其中 E 为系统的接入效率, T_m 为第 m 个簇被允许接入的时间段之间的时间间隔, θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子, T_m^0 为第 m 个簇内设备的平均随机接入延迟, d_m 为第 m 个簇最大可容忍端到端数据传输时延, T_m^{req} 为第 m 个簇的接入时延要求, ε_m 表示第 m 个簇延迟超过 d_m 的能够接受概率, α_m 为设定的第 m 个簇时延需求水平的正常数, T_0 为允许接入的各时间段内的传输时间, M 为簇的总数, \mathbb{N}^+ 表示正整数。

[0100] 系统的接入效率 E 为各簇的接入效率之和,计算公式如下:

$$[0101] \quad E = \sum_{m=1}^M \frac{C_m P_m^{acc}}{L}$$

[0102] 其中 M 为簇的总数, C_m 为第 m 个簇在当前时刻预备接入的预备接入的设备数, P_m^{acc} 是第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率, L 为每个簇在其允许接入时间段内分配的随机接入机会数量。

[0103] 第 m 个簇成功通过接入等级拦截校验并成功发送接入请求的概率 P_m^{acc} 的计算方法如下:

$$[0104] \quad P_m^{acc} = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{C_m \theta_m - 1} \theta_m$$

[0105] 其中 θ_m 为第 m 个簇的接入等级拦截校验因子。

[0106] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的方法中实施例中的对应过程可参照前述系统中各模块的具体工作过程,在此不再赘述。

[0107] 上述方法在按时延要求进行分簇的基础上,通过联合优化各簇的接入时间间隔以及接入等级拦截校验因子,在保障接入时延和传输时延的条件下最大化系统的接入效率,从而有效降低海量接入导致的冲突,提高接入效率,保障多样化的时延需求。

[0108] 基于同一发明构思,本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时以上实施例提供的接入控制方法的步骤。

[0109] 以上结合附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

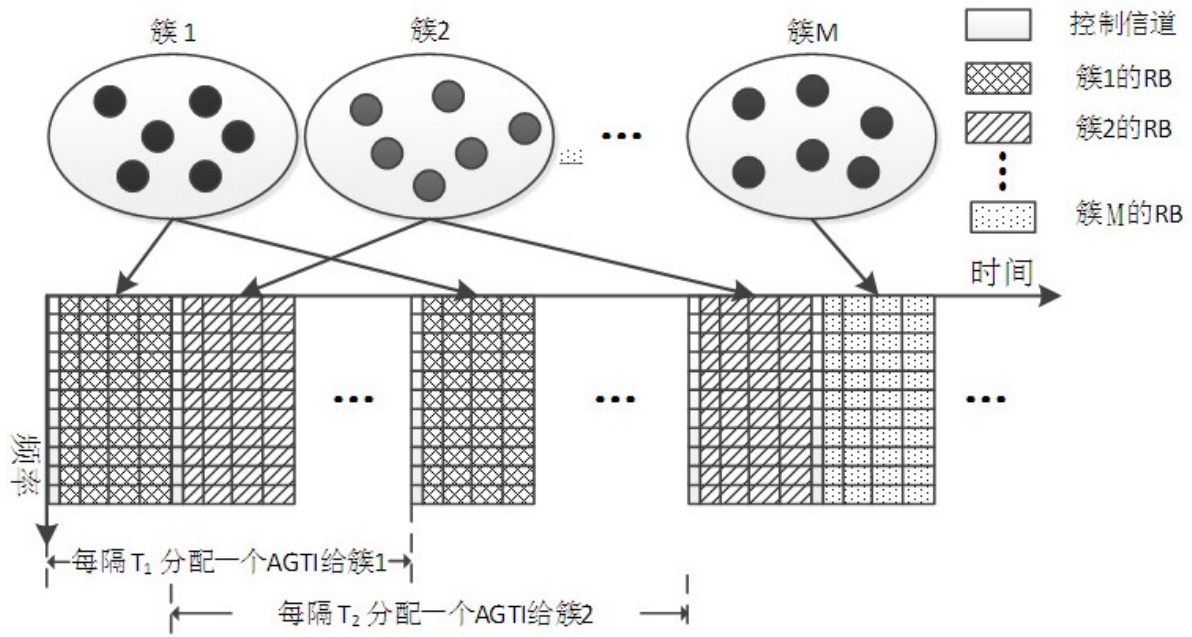


图1

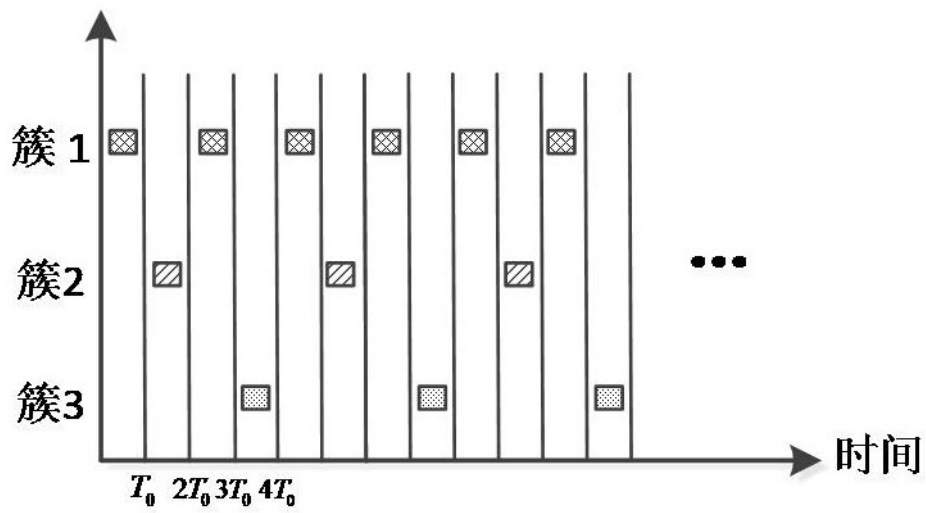


图2

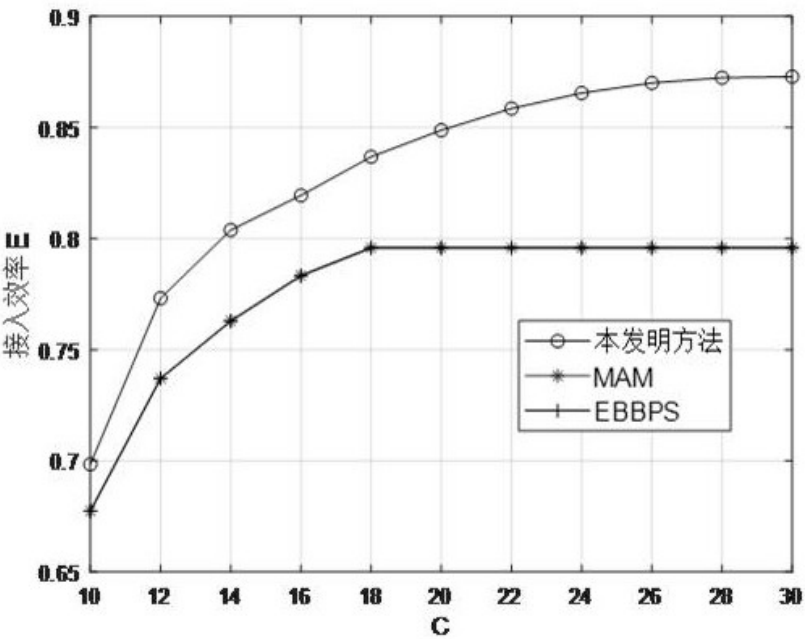


图3