

H2H 与 M2M 共存场景下的 上行资源分配算法

蒋继胜, 朱晓荣

(南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室, 江苏南京 210003)

摘 要: 未来网络中将有大量的机器与机器(machine-to-machine, M2M)通信终端, 比人与人(human to human, H2H)通信终端至少要多出2个数量级, 网络中传统的资源分配算法无法满足新业务的通信需求. 基于H2H与M2M共存场景, 本文通过分析M2M终端特性, 提出了一种基于背包模型的分级传输的资源分配算法, 此分配算法优先保障H2H与时延敏感的M2M通信业务的服务质量(Quality of Service, QoS), 同时充分考虑时延非敏感的M2M的业务特性, 节省能量消耗. 仿真结果表明该算法能够提高资源利用率, 同时满足H2H与M2M业务的QoS.

关键词: 机器与机器通信; 资源分配; 背包问题

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2018)05-1259-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.05.036

An Uplink Resource Allocation Algorithm Under the Scenario of Coexistence of H2H & M2M Based on Knapsack Model

JIANG Ji-sheng, ZHU Xiao-rong

(Wireless Communication Key Lab of Jiangsu Province, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract: In the future networks, there will be a large number of machine-to-machine (M2M) communication terminals, which are at least two orders of magnitude higher than the user equipments (UEs). The traditional resource allocation algorithm cannot meet the requirements of the new service. Under the scenario of coexistence of H2H and M2M, this paper presents a resource allocation algorithm based on knapsack model by analyzing the characteristics of M2M terminals. This new algorithm can guarantee the QoS of H2H and delay sensitive M2M communication service, while taking full account of the characteristics of non-sensitive M2M communication service to save energy consumption. Simulation results show that the algorithm can improve the resource utilization rate and simultaneously satisfy the QoS of H2H and M2M services.

Key words: machine-to-machine communication; resource allocation; knapsack problem

1 引言

近年来, 物联网飞速发展^[1], 作为物联网的初级阶段, 机器与机器通信是一种不在人为干扰下机器与机器间直接进行通信的一种方式, 其特点是终端数量大、以上行传输为主、多数业务时间容忍度高以及低移动性等^[2]. 蜂窝网络作为当前主流的无线通信网络, 随着M2M通信的快速发展, 基于蜂窝网络的M2M通信已经是一种主要的移动通信方式. 然而, 传统移动通信网络中的资源分配算法主要是为H2H通信设计的, 无法满足M2M业务新的需求, 近年来针对M2M业务的资源分配方法做出了大量的研究^[3~6].

M2M业务数量巨大并且具有独特的业务特性, 文献[7]制订了M2M业务的分类标准以及每种类型业务的QoS需求. 文献[8]研究H2H与M2M共存场景下, 系统过载情况的混合资源分配问题, 同时考虑了控制信道对资源分配的影响. 优化目标是最大化服务的M2M终端数目, 区别于传统的最小化发射功率、最大化系统吞吐量等目标. 文献[9]提出算法目标是在H2H与M2M共存场景下降低网络中的能量消耗. 文献[10]提出了一种M2M终端基于群组通信传输时的资源分配算法, 该算法保障了各群组间所有终端的传输速率之和满足比例公平. 但文献[8~10]都没有考虑时延敏感M2M业务的传输需求, 所提算法无法满足此类M2M业

收稿日期: 2017-04-12; 修回日期: 2017-09-01; 责任编辑: 郭游

基金项目: 国家自然科学基金(No. 61372125); 江苏省普通高校学术学位研究生科研创新计划项目(No. KYLX16_0658)

务的 QoS 需求. 文献[11]和[12]对 M2M 设备在上行通信时的信道增益和发射功率进行定性研究, 延长其网络寿命.

基于以上研究现状, 本文提出了在 H2H 与 M2M 终端共存场景下的 LTE 上行资源分配算法, 旨在解决未来有海量 M2M 通信用户存在时, 优先保障 H2H 与时延敏感的 M2M 通信业务的服务质量和用户间公平性, 同时充分考虑时延非敏感的 M2M 的业务特性, 延长使用寿命. 该算法能够最大限度地利用时间、频率二维资源, 为 M2M 用户提供服务, 提高 LTE 上行链路的传输性能.

2 系统模型

2.1 网络模型及问题描述

M2M 应用场景中, 大量的 M2M 终端具有相同或相似特性, 按照相同或相似的属性将 M2M 终端划分成群组, 可以大大降低基站管理复杂度和减少不必要的资源浪费. 同时, 本文算法为了保障时延敏感的 M2M 业务的 QoS 需求, 时延敏感的 M2M 终端直接和基站进行连接通信. H2H 与 M2M 共存场景网络模型如图 1 所示, 时延敏感的机器类通信设备 MTCD (machine-type communications devices) 直接和基站进行通信, 对时延不敏感的 M2M 终端按照业务属性或位置划分成不同的群组, 通过机器类通信网关 MTC (machine-type communications devices gateway) 和基站进行通信. 一个分配周期内, 基站调度器首先对 H2H 和时延 M2M 用户队列中的用户进行调度, 保障其通信的服务质量; 在对 H2H 和时延 M2M 用户队列调度完成后, 仍然有剩余资源再对非时延 M2M 用户队列中的用户进行调度, 以合理利用 LTE 上行链路无线资源, 提高 LTE 上行链路的传输性能.

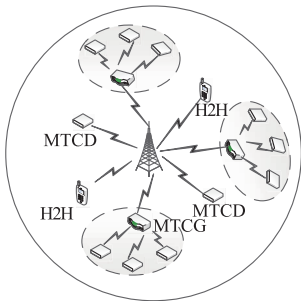


图1 系统模型

假设单小区上行 OFDMA 系统内包含 C 资源块、 H 个 H2H 用户和时延敏感的 M2M 用户和 M 非时延 M2M 用户终端, M 时延非敏感 M2M 用户终端被划分成 L 终端组. 每个终端业务在不同资源块上具有不同的信道增益, 因为信道相干时间大于子帧持续时间, 所以可以

看成是常数. 假设基站侧知道每个终端的信道状态信息, 当获取这些信息后, 基站调度器就可以根据给定的资源分配算法为每个终端分配资源. 令 h_{ij} 为资源块 j 上为用户 i 服务时的信道增益, 则基站调度器将资源块 j 分配给用户 i 时的传输功率为 p_{ij} , 则:

$$p_{ij} = -\frac{\ln(5BER_j^*)(Q-1)}{1.5} \times \frac{\sigma^2}{|h_{ij}\omega_{ij}|^2} \quad (1)$$

其中, BER_j^* 为用户 i 的 BER 需求, ω_{ij} 为波束形成权向量, σ^2 为加性高斯白噪声的方差.

用户 i 在资源块 j 上的传输速率为 R_{ij} , 根据香农公式得:

$$R_{ij} = B\log_2(1 + \frac{h_{ij}P_{ij}}{\delta^2}) \quad (2)$$

其中, B 为资源块的带宽.

2.2 业务优先级队列

在分析传统 H2H 通信的 QoS 类型和结合文献[3]提出的 H2H 业务 QoS 分类和参数设置基础上, 本文提出一种 M2M 与 H2H 终端共存场景下的 QoS 分类方法. 如表 1 所示, 视频流报警业务误码率要求高、实时性特别强, 优先级应该设置很高, 使基站尽快为其服务. 视频监控业务误码率要求低、对时延有要求, 优先级低于会话类业务和会话类视频, 但是高于 HTTP 与 FTP 业务. 周期监控业务是时延容忍类业务, 属于尽力而为业务, 数据量小、优先级低, 在基站资源紧张时可以选择先不为其分配资源. 这样划分保障了在大量 M2M 终端存在场景下 H2H 业务的 QoS, 又可以满足实时性要求高的 M2M 业务的传输需求.

表 1 H2H 与 M2M 业务划分

终端类型	业务类型	QoS 等级	分组时延预算	丢包率
M2M	实时性时延敏感业务, 如视频流报警	7	100ms	10^{-3}
H2H	会话类业务, 如语音业务	6	100ms	10^{-2}
H2H	会话类视频(流媒体直播)	5	150ms	10^{-3}
M2M	实时性业务, 如实时监控	4	200ms	10^{-3}
H2H	HTTP 业务	3	300ms	10^{-6}
H2H	FTP 业务	2	300ms	10^{-6}
M2M	时延容忍类业务, 如周期监控	1	NA	NA

表 1 中 QoS 等级 4-7 的业务对时延有要求, 服务迫

切度与排队等待时间成正比;等级 2 和 3 的业务对时延没有要求,其服务迫切度与到达时间成反比. 令 Q_i 表示用户 i 的服务优先级,基站调度器按照 Q_i 的值从大到小一次为每个用户分配资源. 等级 4-7 业务的 Q_i 为:

$$Q_i = q_i / \exp(10^3(D_i - \bar{\omega}_i)) \quad (3)$$

其中, q_i 为用户请求业务的 QoS 等级, D_i 为用户 i 的时延界限, $\bar{\omega}_i$ 表示用户 i 的排队等待时间, 当 $\bar{\omega}_i > D_i$ 时, 用户当前的数据将会因超时而被丢弃. 等级 2 和 3 业务的 Q_i 为:

$$Q_i = q_i / \exp(10^3\alpha_i) \quad (4)$$

其中, α_i 表示用户 i 的到达时间.

表 1 中 QoS 等级为 1 的业务是尽力而为业务,其终端划分成群组通过网关和基站进行通信,基站调度器先为 QoS 等级 2-7 的业务分配资源,当分配完成后还有剩余资源在为其服务. 群组内每个用户的服务优先级 Q_i 定义为:

$$Q_i = 1 / \exp(10^3\beta_i) \quad (5)$$

其中, β_i 表示用户 i 的到达时间.

3 资源分配算法

3.1 H2H 和时延敏感的 M2M 用户队列的资源调度

在一个分配周期内,基站调度器首先对 H2H 和时延敏感的 M2M 用户队列中的用户分配资源. 基站调度器遍历所有业务在不同资源块上的传输速率,传输速率最大的业务为当前业务,调度器将对应的资源块分配给当前业务,如果满足业务的传输需求则继续为其他业务分配;否则,将此业务在其余资源块上传输时速率最大的资源块分配给此业务,再判断是否能够满足其最低传输速率需求. 本文算法的分配目标是在满足用户业务 QoS 需求的基础上最大化系统单位时间内所有终端传输速率之和,即系统吞吐量. 根据本文算法,优化方程为:

$$\begin{aligned} \text{maximize } z &= \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^C R_{ij} * x_{ij}, \\ \text{s. t. } &\sum_{i=1}^H y_i x_i \leq C \\ &\sum_{j=1}^C R_{ij} * x_{ij} \geq R_i^*, i = 1, \dots, H \\ &x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, H \end{aligned} \quad (6)$$

其中, R_i^* 为业务 i 的最小传输速率; $x_{ij} = 1$ 表示基站调度器将资源块 j 分配给用户 i , 反之, 资源块 j 不分配给用户 i ; y_i 为分配给业务 i 的资源块数目.

基站资源充足时,可以为每个用户分配合适的资源;但当基站资源不足时,基站调度器要对请求用户进行取舍以最大化系统吞吐量,此时为一个典型的背包

模型. 基站是一个容量为 C 的背包,每个业务为一个物品,共有 H 个. 每个物品的重量为 y ,即分配的资源块数量;产生的利润为 R ,即每个业务在所有资源块上的传输速率之和. 考虑到当多个业务需求同一资源块时,将资源块分配给速率最大的业务 A ,则其余需要这一资源块的业务只能获得次优资源块,但当基站选择不为 A 业务服务时,其余需要 A 的业务可能获得这一资源块,所以这些业务分配资源依赖于业务 A 的服务情况. 将业务 A 称为“主件”,依赖于业务 A 的业务称为“附件”,这是典型的依赖关系背包问题. 简单起见,假设每个附件只依赖于一个主件,并且附件下没有附件. 系统内共有 P 主件,主件 $p \in \{1, 2, \dots, P\}$ 有 N_p 附件,其余业务分配情况相互独立. 基站为每个业务服务时已经满足约束条件,则数学模型转换为:

$$\begin{aligned} \text{maximize } z &= \sum_{i=1}^{1+N_1} R_i * x_i + \sum_{i=N_1+2}^{2+N_1+N_2} R_i * x_i + \dots + \\ &\sum_{i=P+\sum_{p=1}^P N_p}^{P+\sum_{p=1}^P N_p} R_i * x_i + \sum_{i=1+P+\sum_{p=1}^P N_p}^H R_i * x_i, \\ \text{s. t. } &\sum_{i=1}^H y_i * x_i \leq C, \\ &x_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, H \end{aligned} \quad (7)$$

一个简单有效的优化:基站选择服务业务 a 或者 b ,若 $R_a \geq R_b, y_a \leq y_b$,则基站优先服务业务 a ,这个优化的正确性显然. 则当基站选择服务附件中某个业务时,必定选择服务其主件. 考虑其中一个主件和它的附件集合,则考虑的策略有很多. 背包问题中泛化物品的含义:它并没有固定的费用和价值,它的价值随着你分配给它的费用而变化. 考虑到这些策略都是互斥的,则将一个主件及其附件集合看成一个业务组,每一种策略看成一种泛化的物品,业务组 p 包含物品数为 $w_p = \sum_{i=0}^{N_p} C_{N_p}^i$. 则优化方程是分组背包的一个变形,若将分配情况相互独立的业务也分成一个个组,则有 $H-1-P-\sum_{p=1}^P N_p$ 个组,每个组内有一个业务. 则优化方程为:

$$\begin{aligned} \text{maximize } z &= \sum_{p=0}^{P+H-1-P-\sum_{p=1}^P N_p} \sum_{j=0}^{w_p} r_j * x_{pj} \\ &\sum_{p=0}^{P+H-1-P-\sum_{p=1}^P N_p} \sum_{j=0}^{w_p} y_i \leq C, \\ &\sum_{j=0}^{w_p} x_{pj} \leq 1, p = 1, 2, \dots, P \end{aligned} \quad (8)$$

其中,

$$w_p = \begin{cases} \sum_{i=0}^{N_p} C_{N_p}^i, & p = 1, 2, \dots, P \\ 1, & p = P+1, P+2, \dots, H-1-P-\sum_{p=0}^P N_p \end{cases} \quad (9)$$

上述优化方程是一个标准的分组背包模型,求解迭代公式为:

$$f[k][v] = \max\{f[k-1][v], f[k-1][v-c[i]] + w[i]\} \quad (10)$$

其中, $f[k][v]$ 表示前 k 组在承重为 v 的背包中获得的极大价值, $c[i]$ 表示物品 i 产生的价值, $w[i]$ 为 i 物品的重量.

3.2 非时延 M2M 用户队列的资源调度

若上述调度完成后还有剩余资源,基站调度器再对 M2M 非时延用户队列中的用户进行调度. 对时延不敏感的 M2M 业务传输数据量一般很小,只有几十或一百多 k ,可以假设对时延不敏感的 M2M 业务只需要一个资源块为其服务. 在经过上述分配后,基站还剩余 r 资源块,此时共有 L M2M 终端群组,第 l 群组内有 n_l 活跃 M2M 终端,即发起请求的 M2M 终端. 比例公平 (PF) 算法优化的目标是在保障终端间的传输速率比在满足预先设定的情况下最大化系统吞吐量. 与传统 H2H 业务相比,终端组内的业务数量多且数据量小,并且大部分终端电池供电,分配算法应尽量延长终端设备的使用寿命. 针对 M2M 终端组的情况,本文提出的公平性算法是在保障终端组接受服务终端数比在满足预先设定的情况下最小化每个终端组的总能量消耗.

基站调度器按照 $n_1:n_2:\cdots:n_L$ 为每个终端组依次分配资源块,终端组 l 内终端能量消耗之和为 ∂_l ,分配的资源块为 m_l 则优化方程为:

$$\text{minimize } \partial_l = \sum_{j=1}^{n_l} E_{ij} * x_j$$

表 2 业务性能参数

业务优先级	1	2	3	4	5	6	7
时延界限	5ms	40ms	50ms	60ms	NA	NA	NA
传输速率	9Mbit/s	0.6Mbit/s	8Mbit/s	7Mbit/s	1.61Mbit/s	11.11Mbit/s	NA
误码率	10^{-6}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}

表 3 仿真环境参数

资源块带宽	180kHz
M2M 终端发射功率	10dBm
基站发射功率	43dBm
白噪声的功率谱密度	-174 dBm/Hz
平均接收信噪比	-3 dB

图 2 给出了在有 10 个 H2H 终端与 110 个资源块存在的系统中,系统吞吐量与时延敏感的 M2M 终端数的关系. H2H 终端与 M2M 终端随机分布在已基站为中心的蜂窝小区中. 仿真结果表明,当基站资源充足时,

$$\begin{aligned} \text{s. t. } \sum_{j=1}^{n_l} x_j &\leq m_l, \\ x_j &\in \{0,1\}, j=1,\cdots,n_l \end{aligned} \quad (11)$$

其中 E_{ij} 表示业务 j 在资源块 i 上进行上行通信时的能量消耗,则

$$E_{ij} = \frac{2^{\frac{L_j}{BT_{ij}}} - 1}{\mu h_{ij}} \quad (12)$$

L_j 表示业务 j 数据长度, B 为资源块带宽, T_{ij} 为业务 j 在资源块 i 上传输用时, μ 为平均接收信噪比, h_{ij} 为业务 j 在资源块 i 上传输时的信道增益.

优化方程 (11) 是一个标准的 0-1 背包问题,求解迭代公式为:

$$f[i,w] = \begin{cases} 0, & i=0 \text{ 或 } w=0 \\ f[i-1,w], & w_i > w \\ \max(c_i + f[i-1,w-w_i], f[i-1,w]), & i>0, w \geq w_i \end{cases} \quad (13)$$

$f[i,w]$ 表示前 i 物品在承重为 w 的背包中获得的极大价值, c_i 表示物品 i 产生的价值, w_i 为 i 物品的重量.

4 仿真分析

为了体现本文提出的分级资源分配算法的优越性,本文将提出的算法与传统吞吐量最大化分配算法,即先为 H2H 终端分配资源再为 M2M 终端分配资源算法进行比较. 每类业务的传输速率、时延界限及误码率如表 2 所示,其他仿真参数如表 3 所示.

本文提出的算法与传统的先为 H2H 终端分配资源的算法具有相同的系统吞吐量;但是当基站资源不足时,本文提出的算法具有更大的优越性,系统吞吐量明显大于传统分配算法.

图 3 比较了在有 50 个时延敏感的 M2M 终端与 110 个资源块的系统中,本文提出算法和传统资源分配算法得到的系统吞吐量与 H2H 终端数的关系. 从图中可以看出,当基站资源充足时,两种算法可以得到相同的吞吐量;但是当基站资源不足以为所有终端分配资源时,传统算法优先为 H2H 终端进行资源分配,即使为一些 H2H 终端分配资源时会得到相对低的吞吐量,使得系统总吞吐量降低.

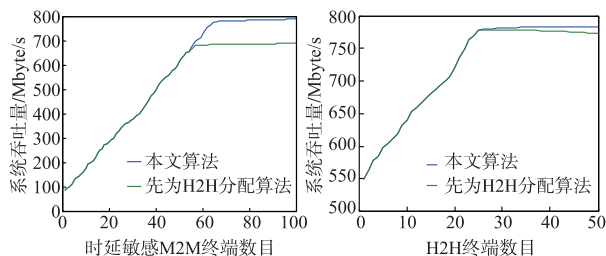


图2 系统容量与时延敏感 M2M 终端数关系 图3 系统容量与H2H终端数关系

图4表示了系统为一个终端群组分配20个资源块时,群组内终端消耗的总能量与活跃的对时延不敏感M2M终端数的关系.如图所示,在每个终端都获得资源时,终端组消耗能量随终端数增加而变大;但是当基站为终端组的分配资源不足时,本文提出的算法与最大化吞吐量算法比较,会优先为消耗能量少的终端分配资源,极大地降低终端的能量消耗,延长它们的使用寿命.

图5给出了基站调度器为一个终端群组分配20个资源块,本文提出算法和最大化吞吐量算法得到的吞吐量与时延不敏感M2M终端数关系.可以看出,基站调度器为终端组分配充足的资源块时,两种算法得到相同的系统吞吐量;但当终端组获得的资源不足时,本文算法会极大地降低终端组整个的能量消耗,但会付出一些吞吐量的代价.

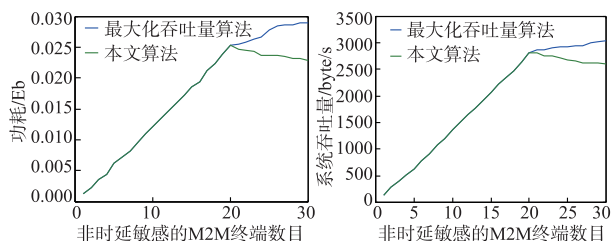


图4 终端组能耗与时延不敏感 M2M 终端数关系 图5 终端组吞吐量与时延不敏感 M2M 终端数关系

5 结语

针对未来有大量M2M终端存在的情况下,本文通过分析M2M设备与业务的特性,提出了一种新的资源分配算法,优先为H2H业务与时延敏感的M2M业务分配资源,保障它们的QoS;其次在为对时延不敏感的M2M业务分配资源,节省设备的能量消耗,延长网络寿命.仿真结果表明该算法可以提高LTE上行链路的资源利用率,同时又充分考虑M2M业务的特征,具有一定的优越性.

参考文献

[1] J Huang, G Chen, B Cheng. A stochastic approach of de-

pendency evaluation for iot devices[J]. Chinese Journal of Electronics, 2016, 25(2): 209-214.

[2] Lien S Y, Chen K C, Lin Y. Toward ubiquitous massive accesses in 3GPP machine-to-machine communications[J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(4): 66-74.

[3] Chang Y, Jung P, Zhou C, et al. Block compressed sensing based distributed resource allocation for M2M communications[A]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing[C]. IEEE, 2016.

[4] Edemacu K, Bulega T. Resource sharing between M2M and H2H traffic under time-controlled scheduling scheme in LTE networks[A]. International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications[C]. IEEE, 2015. 1-6.

[5] Hamdoun S, Rachedi A, Ghamri-Doudane Y. A flexible M2M radio resource sharing scheme in LTE networks within an H2H/M2M coexistence scenario[A]. 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)[C]. Kuala Lumpur, 2016. 1-7.

[6] Han S J, Park H S, Dan K S. A non-orthogonal resource allocation scheme in spatial group based random access for cellular M2M communications[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, PP(99): 1-1

[7] Liu R, Wu W, Zhu H, et al. M2M-oriented QoS categorization in cellular network[A]. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on[C]. Wuhan, 2011. 1-5.

[8] 王鑫, 邱玲. H2H 与 M2M 共存场景的准入控制及资源分配[J]. 中国科学院大学学报, 2016, 03: 427-432. Wang Xin. Admission control and resource allocation of H2H&M2M co-existence scenario[J]. Journal of University of Chinese Academy Of Sciences, 2016, 03: 427-432. (in Chinese)

[9] Aijaz A, Tshangini M, Nakhai M R, et al. Energy-efficient uplink resource allocation in LTE networks with M2M/H2H co-existence under statistical QoS guarantees[J]. IEEE Transactions on Communications, 2014, 62(7): 2353-2365.

[10] 梅海涛, 聂滢. 基于 M2M 终端组的比例公平资源分配研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2011, 24(5): 79-83.

Mei Haitao, Nie Ying. The research about proportional fair resource allocation based on group of M2M[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2011, 24(5): 79-83. (in Chinese)

[11] Ho C Y, Huang C Y. Energy-saving massive access control and resource allocation schemes for M2M communications in OFDMA cellular networks[J]. Wireless Communications Letters IEEE, 2012, 1(3): 209-212.

- [12] Dhillon H S, Huang H C, Viswanathan H, et al. Power-efficient system design for cellular-based machine-to-ma-

chine communications[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(11): 5740–5753.

作者简介



蒋继胜 男,南京邮电大学硕士研究生,研究方向为无线虚拟化与物联网情境下的资源分配.
E-mail: 15861826220@163.com



朱晓荣 女,1977年生,南京邮电大学教授,研究方向为超密集无线网络、异构网络、无线传感器网络、认知无线电无线资源管理、跨层优化算法及协议设计、性能评估及建模分析.