



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109041130 A

(43)申请公布日 2018. 12. 18

(21)申请号 201810904391.8

(22)申请日 2018.08.09

(71)申请人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路10号
北京邮电大学

(72)发明人 郭少勇 徐思雅 邵苏杰 丰雷
胡杏 阮琳娜 喻鹏 邱雪松
元峰

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王莹 吴欢燕

(51) Int. Cl.

H04W 28/16(2009.01)

H04W 24/06(2009.01)

H04W 4/50(2018.01)

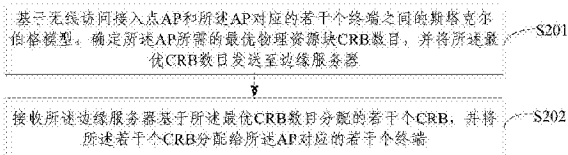
权利要求书2页 说明书18页 附图10页

(54)发明名称

基于移动边缘计算的资源分配方法

(57)摘要

本发明实施例提供一种基于移动边缘计算的资源分配方法,包括:基于无线访问接入点AP和AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将最优CRB数目发送至边缘服务器;接收边缘服务器基于最优CRB数目分配的若干个CRB,并将若干个CRB分配给AP对应的若干个终端,其中,若干个CRB是边缘服务器基于最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,综合考虑了三层的公平性与效益最大化的问题,满足时延敏感型应用对于时延和速率的需求,使得边缘服务器的效益最大化。本发明很好的利用了移动边缘计算位于网络边缘的优势,考虑了无线访问接入点。



1. 一种基于移动边缘计算的资源分配方法,其特征在于,包括:

基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;

接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

2. 根据权利要求1所述的资源分配方法,其特征在于,所述基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器,具体包括:

基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,将所述AP作为领导者,将所述若干个终端作为追随者,获取所述AP对于所述若干个终端中任一终端的预测最优CRB数目;

将所述预测最优CRB数目发送至所述若干个终端中任一终端,以使得所述若干个终端中任一终端基于对应的预测最优CRB数目获得对应的终端最优CRB数目,将对应的终端最优CRB数目发送至所述AP;

累加所述若干个终端中所有终端的终端最优CRB数目,获取所述AP所需的最优CRB数目。

3. 根据权利要求2所述的资源分配方法,其特征在于,所述接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,具体包括:

接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,判断所述若干个CRB的数目是否等于所述最优CRB数目;

若所述若干个CRB的数目等于所述最优CRB数目,则按照所述若干个终端中任一终端所需的终端最优CRB数目,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端;

若所述若干个CRB的数目小于所述最优CRB数目,则基于一对多的匹配算法,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

4. 根据权利要求3所述的资源分配方法,其特征在于,所述将所述预测最优CRB数目发送至所述若干个终端中任一终端,以使得所述若干个终端中任一终端基于对应的预测最优CRB数目获得对应的终端最优CRB数目,并将对应的终端最优CRB数目发送至所述AP,之后还包括:

基于最优CRB数目计算公式,调整所述AP的效益函数;

基于调整后的所述AP的效益函数的一阶导数,确定所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目;

根据所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目,以及所述若干个终端中任一终端的效益函数的一阶导数,获取向所述若干个终端中任一终端设立的资源购买价格;

对应的,所述基于一对多的匹配算法,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,具体包括:

将所述若干个终端中每一终端按照对应的资源购买价格设置优先级;

以所有终端的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个终端中任一终端所需的终端最

优CRB数目,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

5. 根据权利要求1所述的资源分配方法,其特征在于,所述基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器,之后还包括:

若在预设时间内未接收到所述边缘服务器分配的CRB,则向所述AP对应的若干个终端发送停止指令以使得所述AP对应的若干个终端停止执行对应的业务。

6. 根据权利要求4所述的资源分配方法,其特征在于,所述基于调整后的所述AP的效益函数的一阶导数,确定所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目,具体包括:

基于调整后的所述AP的效益函数的一阶导数,获知所述AP的效益与所述若干个终端中任一终端的资源购买价格的相关关系;

基于所述AP的效益与所述若干个终端中任一终端的资源购买价格的相关关系,以及所述若干个终端中任一终端的排队时延,确定所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目。

7. 一种基于移动边缘计算的资源分配方法,其特征在于,包括:

接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,

以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

8. 根据权利要求7所述的资源分配方法,其特征在于,所述接收边缘服务器对应的若干个AP确定的每一AP所需的最优CRB数目,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,之前还包括:

将所述若干个AP中每一AP按照对应的偏好量设置优先级;

其中,所述若干个AP中任一AP对应的偏好量为所述若干个AP中任一AP支付给所述边缘服务器的CRB租借费用,与从所述边缘服务器到所述若干个AP中任一AP的运输成本之差。

9. 一种基于移动边缘计算的资源分配方法,其特征在于,包括:

接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务。

10. 根据权利要求9所述的资源分配方法,其特征在于,所述接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务,之前还包括:

基于所述AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,接收所述AP发送的预测最优CRB数目;

根据所述预测最优CRB数目,将终端效益函数的一阶导数值为0时的一阶导数带入最优CRB数目计算公式中,获取所需的终端最优CRB数目,并将所述终端最优CRB数目发送至所述AP,以使得所述AP基于对应的若干个终端中所有终端的终端最优CRB数目,获取所述AP所需的最优CRB数目并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器以接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB。

基于移动边缘计算的资源分配方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及移动边缘计算技术领域,更具体地,涉及一种基于移动边缘计算的资源分配方法。

背景技术

[0002] 物联网的发展为经济和个人开放了巨大的机遇。当前物联网技术在云计算任务迁移、边缘计算视频监控、智能家居、智慧城市、智能交通、协同运算等方面均已实现了广泛运用。以智能家居为例,研究发现,中国智能家居的市场有望每年平均增长48%,预计到2022年中国拥有智能家居潜在市场的家庭需求可达4亿。智能家居是利用综合布线技术、网络通信技术、自动控制技术等,将家居设备相关信息集成于一个以住宅为基础的平台,构建高效的住宅设施与家庭日常事务的管理系统。智能家居系统中的应用能彼此交流,应对不同外部环境提供即时服务。例如,家庭视频监控系统能进行人脸识别,在有陌生人擅闯住宅时需要第一时间发出警报。

[0003] 物联网中层出不穷的智能设备给用户提供的便利体验依赖于执行业务过程中的低时延与快速响应,为了实现这些业务的快速部署和数据的高效处理,2010年提出业务云化、网络IP化和终端智能化的“云管端”信息服务架构,“云管端”架构面向个人、家庭、物联网行业等用户,这一体系涵盖了丰富多样的智能终端,在物联网新兴阶段发挥了重要作用。然而,传统云计算中长距离传输和繁冗的中间处理环节导致了昂贵的传输成本和较高的服务延时,也加大了数据泄露的可能性。据思科全球云指数预估,各种终端设备产生的数据总和在2020年预计会达到600ZB,如果将海量数据全部转移到云平台处理将带来严重的网络堵塞;同时随着通信技术的发展,云计算已经难以满足一些时延敏感型业务的需求。在此情况下,具有低时延、强交互性特点的移动边缘计算(MEC, Mobile Edge Computing)进入人们视野。

[0004] MEC是在靠近用户或者数据源头的网络边缘,综合网络、计算和存储的一种新型计算模型,具有广泛的应用前景。通过将移动运营商、服务器、终端结合在一起,MEC能提高响应灵敏度,实现应用之间的实时交互。在即将到来的5G时代,MEC与NFV、SDN一同被5GPPP视为5G网络发展的关键技术。将边缘计算与物联网结合,可以通过将计算能力下沉到网络边缘,在靠近移动用户的位置上,提高IT的服务、环境和云计算能力,能够满足低时延、高带宽的业务需求。基于边缘计算的物联网架构为“云管边端”架构或“云边端”架构。它与云计算框架最大的区别在于,边缘计算采用分布式计算架构,将运算分散给靠近数据源的边缘设备处理,分担云平台的工作量,从而解决传统需要把数据回传云端处理的弊端,实时性更好、效率更高、延迟最短,甚至可以在没有网络、无法接入云端的情况下完成边缘设备的“实时”计算。

[0005] 结合物联网发展现状,智能家居有着光明的发展前景,将MEC引入智能家居系统,可以降低智能终端的时延,满足它们对于带宽与计算能力的需求,保障住宅的便利性与安全性,从而显著提升用户的生活体验。但边缘计算场景下智能家居的进一步发展也面临新

的约束。智能终端应用的井喷给带宽资源分配带来了沉重的压力,导致了严重的带宽资源不足和计算资源的浪费。因此我们面向智能家居系统,讨论如何在边缘计算环境下制定高效的资源分配算法。面对有限的计算资源,尽量提高带宽效率,减小能量消耗,不论是对于智能家居系统中实时数据的交互,还是万物互联网络架构的实现与普及,都有重大意义。

[0006] 一种现有的技术方案提供了一种资源分配方法,具体方法包括:基站根据获取到的终端的业务请求确定所述业务请求对应的移动边缘计算应用;基站根据所述基站所在的移动蜂窝网络中的所述业务请求对应的移动边缘计算应用的地址,向所述移动边缘计算应用发送会话请求。在基站接收到终端发送的业务请求后,利用该基站现有的部署在移动蜂窝网络中的移动边缘计算应用为该终端分配资源,使得终端能够使用的移动边缘计算应用不会受到基站自身安装的移动边缘计算应用的限制。

[0007] 这一方法可以解决现有技术中由于移动边缘计算应用都部署在基站上,终端使用的移动边缘计算应用会受到基站自身安装的移动边缘计算应用类型的限制,以及移动边缘计算应用的部署受到基站位置的影响,导致移动边缘计算应用的部署成本较高,功能效果较差,以及移动边缘计算应用的部署的灵活度不高的问题。通过利用基站现有的部署在移动蜂窝网络中的移动边缘计算应用为该终端分配资源,使得终端能够使用的移动边缘计算应用不会受到基站自身安装的移动边缘计算应用的限制。但是此方法虽然能显著降低用户成本,但遍历移动蜂窝网络中的所有应用耗费大量时延,且增加了对带宽资源的负担。

[0008] 另一种现有的技术方案提供了一种资源分配方法。该方法基于任务缓存和传输优化机制,实现最优任务缓存和上传下载时间分配以及低复杂度次优任务缓存和上传下载时间分配,当移动设备待执行的任务的计算结果已被基站缓存时,移动设备从基站端下载该任务的计算结果,否则,移动设备将该任务上传至基站进行计算,然后从基站下载该任务的计算结果,当多个移动设备上传同一任务至基站时,基站选择信道最好的移动设备实现上传,当多个移动设备下载同一任务的计算结果时,基站用多播的方式发送一次该任务的计算结果,并使信道最差的移动设备恰好成功接收所述计算结果。

[0009] 这一方法在多任务请求的移动边缘系统中联合优化通信、缓存和计算资源,从而达到节能目的,可设计节能的缓存辅助型移动边缘计算系统。但是,该方案虽然减小了能力消耗,但实现起来较复杂,没有很好的利用移动边缘计算位于网络边缘的优势,与雾计算进行区分,牺牲了低复杂度情况下系统的计算资源。

[0010] 还一种现有的技术方案提供了一种基于移动边缘计算的资源分配及基站服务部署方法,该方法包括:当检测到移动终端中有计算任务时,向智能基站发送计算迁移请求;当基站的缓存单元中缺少该任务请求所需的计算数据时,向网络侧发送所需任务数据需求;收到网络侧返回的所需任务数据;根据接收到的所需任务数据,计算时延收益和能耗收益;根据体验效用函数获得计算迁移判决矩阵;根据计算迁移判决矩阵进行计算迁移。所述基站服务部署方案包括缓存单元、计算单元、获取处理单元、发送单元,可以提供计算能力和数据缓存能力。

[0011] 这一方法介绍了多服务器移动边缘计算的控制与资源调度方法。中心基站负责任务调度与数据缓存,服务基站负责进行计算,充分利用了网络的基础设施和计算资源,缩减任务处理时间;同时根据不同应用任务,为终端提供按任务迁移、按比例迁移的能力,使得迁移更加灵活。整个计算迁移过程看作有限动作集的博弈游戏,移动设备用户出于平衡状

态时,可以实现一个相互满意的解决方案。但是,该方案并未考虑到系统中多个无线访问接入点(AP,WirelessAccessPoint)的竞争关系,需要更加细节化。

发明内容

[0012] 针对现有技术存在的问题,本发明实施例提供一种基于移动边缘计算的资源分配方法。

[0013] 本发明实施例提供一种基于移动边缘计算的资源分配方法,包括:基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

[0014] 本发明实施例提供一种AP,包括:至少一个处理器;以及与所述处理器通信连接的至少一个存储器,其中:所述存储器存储有可被所述处理器执行的程序指令,所述处理器调用所述程序指令能够执行上述资源分配方法。

[0015] 本发明实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述资源分配方法。

[0016] 本发明实施例提供一种基于移动边缘计算的资源分配方法,包括:接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0017] 本发明实施例提供一种边缘服务器,包括:至少一个处理器;以及与所述处理器通信连接的至少一个存储器,其中:所述存储器存储有可被所述处理器执行的程序指令,所述处理器调用所述程序指令能够执行上述资源分配方法。

[0018] 本发明实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述资源分配方法。

[0019] 本发明实施例提供一种基于移动边缘计算的资源分配方法,包括:接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务。

[0020] 本发明实施例提供一种终端,包括:至少一个处理器;以及与所述处理器通信连接的至少一个存储器,其中:所述存储器存储有可被所述处理器执行的程序指令,所述处理器调用所述程序指令能够执行上述资源分配方法。

[0021] 本发明实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述资源分配方法。

[0022] 本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,通过设置资源分配系统架构,能够提高带宽效率,解决了现有技术中存在的耗费大量时延,且增加了对带宽资源的负担的问题。通过建立斯塔克尔伯格模型,通过一对多的匹配算法进行分配,综合考虑了三层的公平性与效益最大化的问题,满足时延敏感型应用对于时延和速率的需求,使得边缘服务器的效益最大化。本发明很好的利用了移动边缘计算位于网络边缘的优势,考虑了无

线访问接入点。

附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0024] 图1为本发明实施例中的资源分配系统架构示意图;

[0025] 图2为本发明基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的流程图;

[0026] 图3为本发明基于移动边缘计算的资源分配系统实施例的模块图;

[0027] 图4为本发明实施例中的AP的框架示意图;

[0028] 图5为本发明基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的流程图;

[0029] 图6为本发明基于移动边缘计算的资源分配系统实施例的模块图;

[0030] 图7为本发明实施例中的边缘服务器的框架示意图;

[0031] 图8为本发明基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的流程图;

[0032] 图9为本发明基于移动边缘计算的资源分配系统实施例的模块图;

[0033] 图10为本发明实施例中的终端的框架示意图;

[0034] 图11为本发明实施例中的不同AP数目结构下随可分配CRB数目增加时边缘服务器的效益的变化曲线图;

[0035] 图12为本发明实施例中的不同AP数目结构下随可分配CRB数目增加时AP的效益的变化折线图;

[0036] 图13为本发明实施例中的不同AP数目结构下随可分配CRB数目增加时终端的效益的变化折线图;

[0037] 图14为本发明实施例中的不同AP数目下随时延上限增大边缘服务器总效益的群组型三维条形图;

[0038] 图15为本发明实施例中的不同AP数目下随时延上限增大AP总效益的群组型三维条形图;

[0039] 图16为本发明实施例中的不同AP数目下随时延上限增大终端总效益的群组型三维条形图;

[0040] 图17为本发明实施例中的不同AP条件下边缘服务器总收益随终端平均所需服务速率增大的变化图;

[0041] 图18为本发明实施例中的不同AP条件下AP总收益随终端平均所需服务速率增大的变化图;

[0042] 图19为本发明实施例中的不同AP数目下边缘服务器总效益随CRB服务速率增长而变化的阶梯图;

[0043] 图20为本发明实施例中的不同AP数目下AP总效益随CRB服务速率增长而变化的阶梯图;

[0044] 图21为本发明实施例中的不同AP数目下终端总效益随CRB服务速率增长而变化的阶梯图;

[0045] 图22为本发明实施例中的在5种AP数目下的边缘服务器效益和其它方法的效益对比条形图。

具体实施方式

[0046] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0047] 图1为本发明实施例中的资源分配系统架构示意图,本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,是根据资源分配系统架构来实现的,以智能家居系统为例,该资源分配系统架构包含边缘服务器、AP与终端的三层单元系统如图1所示。每个终端可以通过边缘服务器铺设在网络中的AP将自己需要执行的即时业务卸载到边缘计算服务器上,因此AP位于中间层,与顶层的边缘服务器直接相连并为底层的终端提高服务。智能家居系统包含多个子系统,在图1中列举出了三个智能家居子系统:智能灯光系统、智能家电系统和智能安防系统,分别负责不同的服务。不同的子系统负责不同的业务,导致了它们对时延和传输速度要求上的差异。从而边缘服务器在给AP分配资源时存在优先级的不同。

[0048] 边缘服务器可以从边缘计算数据中心分配到一定的带宽资源,在一定时间内,带宽资源数目稳定。随后将计算资源分配给与它相连的无线基站。每个无线基站均有一个无线访问接入点(AP, Wireless Access Point),与在其覆盖范围内的终端之间为无线连接。当终端需要执行低延时、强交互性的业务时,可以向AP发起请求。计算资源足够的条件下,终端便能将业务通过通信链路卸载到边缘服务器上处理。

[0049] 在网络中,边缘服务器只与相连的AP有直接接触,将资源分配给AP;在AP确定能分配到的带宽数目后,再将资源分配给覆盖范围内的终端。

[0050] 在此三层资源分配系统架构中,假设边缘服务器覆盖范围内有K个AP,记为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ 。 a_k 中有卸载业务需求的终端数目为 M_k ,记为 $S^k = \{s_1^k, s_2^k, \dots, s_{M_k}^k\}$,终端 s_j 要求的卸载速率为 λ_j 。

[0051] 图2为本发明基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的流程图,如图2所示,包括:S201、基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;S202、接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

[0052] 具体地,本实施例的执行主体为无线访问接入点AP。

[0053] 进一步地,所述接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,之后还包括:计算边缘服务器、AP和终端的效益。

[0054] 进一步地,首先需要定义边缘服务器能分配的虚拟单位计算资源为物理资源块(computational resource block, CRB),其可以达到的服务速率为 μ 。

[0055] 进一步地,进行本发明实施例中的基于移动边缘计算的资源分配方法之前,需要

确定边缘服务器的效益函数、AP的效益函数和终端的效益函数。

[0056] 考虑网络中终端执行业务时获得的效益。对于第k个AP,即 a_k 覆盖的终端 s_j^k ,如果能从AP分配到足够的CRB顺利执行业务,终端完成的工作量即为它的收入。此外,终端向AP购买CRB的费用和业务执行过程中耗费的服务延时为开销。所以终端的效益函数如下所示:

$$[0057] \quad W_{k_j}^s = \alpha_j^k \cdot \lambda_j^k - \beta_j^k \cdot q_j^k \cdot r_j^k - \gamma_j^k \cdot t_j^k。$$

[0058] AP将CRB出售给覆盖范围内的终端后得到效益,但其所拥有的计算资源都是从边缘服务器租借而来,所以还需要向边缘服务器支付CRB的租借费用。因此第k个AP,即 a_k 的效益函数为:

$$[0059] \quad W_k^a = \left(\sum_{j=1}^{M_k} r_j^k \cdot q_j^k \right) - p_k \cdot Q_k。$$

[0060] 边缘服务器可以从AP处收取CRB的租借费用,同时需要维护网络的正常运行,承担计算资源的传输过程开销。两者之差即为边缘服务器的效益函数,如下:

$$[0061] \quad W^o = \sum_{i=1}^K L_i \cdot (p_i - c_i) \cdot Q_i。$$

[0062] 进一步地,步骤S201中,斯塔克尔伯格模型为由德国经济学家斯塔克尔伯格(H.Von Stackelberg)在上世纪30年代(1934年)提出的一种产量领导模型,该模型反映了不对称的竞争。在斯塔克尔伯格的寡头理论中,提出了将寡头厂商的角色定位为领导者与追随者的分析范式。一般来说,古诺模型中互为追随者的两个厂商势均力敌。而斯塔克尔伯格模型中,一个是实力雄厚的领导者,一个是实力相对较弱的追随者。该模型的基本假定条件是,在一个寡头行业中有两个厂商,他们生产相同的产品,其中,一个寡头厂商是处于支配地位的领导者,另一个是寡头厂商的追随者;另外,与古诺模型一样,每个厂商的决策变量都是产量,即每个厂商都会选择自己的最优产量来实现利润最大化。

[0063] 在本发明的实施例中,边缘服务器覆盖范围下包括若干个AP,AP覆盖范围下包括若干个终端,本发明的实施例中的若干个指代一个或者多个。

[0064] 步骤S201中,将AP和该AP覆盖范围下的若干个终端建立成斯塔克尔伯格模型,在这个模型的基础上,AP最终确定所需的最优CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器。

[0065] 本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,通过设置资源分配系统架构,能够提高带宽效率,解决了现有技术中存在的耗费大量时延,且增加了对带宽资源的负担的问题。通过建立斯塔克尔伯格模型,通过一对多的匹配算法进行分配,综合考虑了三层的公平性与效益最大化的问题,满足时延敏感型应用对于时延和速率的需求,使得边缘服务器的效益最大化。本发明很好的利用了移动边缘计算位于网络边缘的优势,考虑了无线访问接入点。

[0066] 对于第k个AP的第j个终端 s_j^k , t_{th} 是它的时延上限。终端的排队时延不能超过时延上限,否则会被视为一次失败的业务执行过程。在终端与AP之间的斯塔克尔伯格博弈中,AP先尝试设立终端购买CRB的单价,终端在此基础上确定自己在不超过时延上限的前提下完成服务并达到最大效益的最优CRB数目,显然终端完成工作量的收益应该始终为正值。终端

得到最优CRB数目条件下可以获得最大效益。因此本发明实施例中的终端的优化目标是：

$$[0067] \quad \begin{aligned} & \max_{q_j^k} W_{k_j}^s(q_j^k | r_j^k) \\ & s.t. \begin{cases} t_j^k \leq t_{th} \\ \alpha_j^k \cdot \lambda_j^k \geq \beta_j^k \cdot q_j^k \cdot r_j^k + \gamma_j^k \cdot t_j^k \\ q_j^k \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

[0068] 接收到终端所需CRB数目的反馈后,AP便能确定覆盖范围内所有终端需要的CRB总数,随后确定终端购买CRB的售价。在各个基站覆盖范围内,如果给小区终端分配的CRB总数超过AP从边缘服务器处租借到的CRB数目,那么小区用户可能占用同一带宽资源,产生干扰冲突,且AP的收益绝对为正。用 Q_k^* 表示第k个AP,即 a_k 获得最大效益时的最优CRB总数, \bar{r}_{-j}^k 表示覆盖范围内除第k个AP的第j个终端 s_j^k 外其他终端的服务价格向量,在终端需要的最优CRB数目、其他终端服务价格和向服务器租借CRB的价格确定的条件下,推导出 a_k 达到最大收益时给 s_j^k 设立的服务单价,即求出最优价格。因此本发明实施例中AP的优化目标是：

$$[0069] \quad \begin{aligned} & \max_{r_j^k} W_k^a(r_j^k | Q_k^*, p_k, \bar{r}_{-j}^k) \\ & s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^{M_k} (r_j^k \cdot q_j^k) \geq p_k \cdot Q_k \\ r_k \geq 0 \\ \sum_{j=1}^{M_k} q_j^k \leq Q_k \\ Q_k \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

[0070] 边缘服务器拥有的CRB总数为M,即AP能向边缘服务器租借的CRB数目上限。考虑到计算过程中有运输消耗,AP租借的费用应该超过成本,才能使边缘服务器获得盈利。对于边缘服务器来说,明确各个AP所需的CRB数目后,需要根据偏好值决定分配给每个AP的CRB数目,以达到最大收益。 Q_{-k}^* 表示除 a_k 外其他AP所需的CRB数目, p_{-k}^* 指其他AP所能提供的租借价格,在这些条件确定的情况下,可以计算出令服务器达到最大效益时可以分配给 a_k 的计算资源。因此本发明实施例中的边缘服务器的优化目标是：

$$[0071] \quad \begin{aligned} & \max_{Q_k} W^o(Q_k | Q_{-k}^*, p_{-k}^*) \\ & s.t. \begin{cases} p_k \geq c_k \\ \sum_{i=1}^K Q_i \leq M \end{cases} \end{aligned}$$

[0072] 基于上述实施例,所述基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器,具体包括:基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,将所述AP作为领导者,将所述若干个终端作为追随者,获取所述AP对于所

述若干个终端中任一终端的预测最优CRB数目；将所述预测最优CRB数目发送至所述若干个终端中任一终端，以使得所述若干个终端中任一终端基于对应的预测最优CRB数目获得对应的终端最优CRB数目，将对应的终端最优CRB数目发送至所述AP；累加所述若干个终端中所有终端的终端最优CRB数目，获取所述AP所需的最优CRB数目。

[0073] 具体地，本实施例的执行主体为无线访问接入点AP。

[0074] 累加所述若干个终端中所有终端的终端最优CRB数目，获取所述AP所需的最优CRB数目，公式为：

$$[0075] \quad Q_k = \sum_{i=1}^{M_k} q_i^k。$$

[0076] 基于上述实施例，所述接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB，并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端，具体包括：接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB，判断所述若干个CRB的数目是否等于所述最优CRB数目；若所述若干个CRB的数目等于所述最优CRB数目，则按照所述若干个终端中任一终端所需的终端最优CRB数目，将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端；若所述若干个CRB的数目小于所述最优CRB数目，则基于一对多的匹配算法，将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0077] 具体地，本实施例的执行主体为无线访问接入点AP。

[0078] 进一步地，AP接收到边缘服务器的若干个CRB不一定完全满足所需的最优CRB数目，可能存在两种情况，一种是刚好满足，一种是供不应求。

[0079] 当情况是刚好满足时，此时AP通过对应的若干个终端中任一终端所需的终端最优CRB数目，将各自所需的CRB直接分配下去。

[0080] 当情况是供不应求时，就需要按照一对多的匹配算法对CRB进行分配。

[0081] 基于上述实施例，所述将所述预测最优CRB数目发送至所述若干个终端中任一终端，以使得所述若干个终端中任一终端基于对应的预测最优CRB数目获得对应的终端最优CRB数目，并将对应的终端最优CRB数目发送至所述AP，之后还包括：基于最优CRB数目计算公式，调整所述AP的效益函数；基于调整后的所述AP的效益函数的一阶导数，确定所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目；根据所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目，以及所述若干个终端中任一终端的效益函数的一阶导数，获取向所述若干个终端中任一终端设立的资源购买价格；对应的，所述基于一对多的匹配算法，将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端，具体包括：将所述若干个终端中每一终端按照对应的资源购买价格设置优先级；以所有终端的优先级由高到低的顺序，按照所述若干个终端中任一终端所需的终端最优CRB数目，将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0082] 具体地，本实施例的执行主体为无线访问接入点AP。

[0083] 具体地，基于最优CRB数目计算公式，调整所述AP的效益函数，具体包括：

[0084] 基于最优CRB数目计算公式，将 q_i^{k*} 代入AP的效益函数中，进一步简化AP的优化目标如下：

$$\begin{aligned}
 & \max_{r_j^k} W_k^a(r_j^k | Q_k^*, p_k, \bar{r}_k) \\
 [0085] \quad & \text{s.t.} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{M_k} \left(\frac{\lambda_j^k}{\mu} + \frac{\lambda_j^k}{\mu \cdot \sqrt{\frac{\beta_j^k \cdot r_j^k}{\gamma_j^k}}} \right) \cdot r_j^k \geq p_k \cdot Q_k \\ r_j^k \geq 0 \\ \sum_{i=1}^{M_k} q_i^k \leq Q_k \\ Q_k \geq 0 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

[0086] 基于最优CRB数目计算公式,调整AP的效益函数为:

$$[0087] \quad W_k^a = \sum_{i=1}^{M_k} \left(\frac{\lambda_j^k}{\mu} + \frac{\lambda_j^k}{\mu \cdot \sqrt{\frac{\beta_j^k \cdot r_j^k}{\gamma_j^k}}} \right) \cdot r_j^k - p_k \cdot Q_k$$

[0088] 调整后的所述AP的效益函数的一阶导数为:

$$[0089] \quad \frac{\partial W_k^a}{\partial r_j^k} = \frac{\lambda_j^k}{\mu} + \frac{\lambda_j^k}{2\mu \cdot \sqrt{\frac{\beta_j^k \cdot r_j^k}{\gamma_j^k}}}$$

[0090] 最少CRB数目为:

$$[0091] \quad q_j^k \geq \frac{\lambda_j^k \cdot t_{th}}{\mu \cdot t_{th} - \lambda_j^k}$$

[0092] 根据所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目,以及所述若干个终端中任一终端的效益函数的一阶导数,获取向所述若干个终端中任一终端设立的资源购买价格,所述向所述若干个终端中任一终端设立的资源购买价格为:

$$[0093] \quad r_j^k = \frac{\gamma_j^k}{\beta_j^k} \cdot \left(\frac{\mu \cdot t_{th} - \lambda_j^k}{\lambda_j^k} \right)^2$$

[0094] 进一步地,将所述若干个终端中每一终端按照对应的资源购买价格设置优先级,优选设置成较高的资源购买价格对应的终端设置成较高的优先级,较低的资源购买价格对应的终端设置成较低的优先级。

[0095] 所述以所有终端的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个终端中任一终端所需的终端最优CRB数目,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端的含义是:以所有终端的优先级由高到低的顺序,给终端分配CRB,直至所述若干个CRB分配完成。此时可能存在有的终端不能分配到CRB,此时该终端接收AP发送的停止业务指令,并停止执行业务,还有一种情况是终端分配到的CRB小于终端最优CRB数目,此时该终端也会接收到AP发送的停

止业务指令,并停止执行业务。

[0096] 本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,能够使得边缘服务器的效益最大。

[0097] 基于上述实施例,所述基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器,之后还包括:若在预设时间内未接收到所述边缘服务器分配的CRB,则向所述AP对应的若干个终端发送停止指令以使得所述AP对应的若干个终端停止执行对应的业务。

[0098] 具体地,本实施例的执行主体为无线访问接入点AP。

[0099] 基于上述实施例,所述基于调整后的所述AP的效益函数的一阶导数,确定所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目,具体包括:基于调整后的所述AP的效益函数的一阶导数,获知所述AP的效益与所述若干个终端中任一终端的资源购买价格的相关关系;基于所述AP的效益与所述若干个终端中任一终端的资源购买价格的相关关系,以及所述若干个终端中任一终端的排队时延,确定所述若干个终端中任一终端所需的最少CRB数目。

[0100] 具体地,本实施例的执行主体为无线访问接入点AP。

[0101] 具体地,所述AP的效益函数的一阶导数值始终大于0,因此AP的效益函数是关于所述若干个终端中任一终端的资源购买价格的单调递增函数,即服务价格越高,AP能获得的利润越高,这即为所述AP的效益与所述若干个终端中任一终端的资源购买价格的相关关系。

[0102] 终端 s_j 的延时 t_j 可以表示为:

[0103] $t_j = h_j + o_j$ 。

[0104] 其中 o_j 表示在业务在服务器上处理过程中的排队时延,而 h_j 则为网络延时,研究发现终端获取CRB后执行业务的时间相比排队时延极短,可忽略不计。根据排队模型,得到排队时延 o_j 的具体计算公式如下:

[0105]
$$o_j = \frac{\lambda_j}{\mu - \frac{\lambda_j}{q_j}}$$

[0106] 网络时延 h_j 受到传输距离、交通流量、硬件设备条件等因素的影响,这些因素中往往不可预测。实际生活中我们认为网络时延可以由一段时间内从服务器到AP以及从AP到终端的总距离来衡量,设为 l_j ,网络时延与距离成线性关系,系数为 θ ,建立其数学模型如下:

[0107] $h_j = \theta \cdot l_j$ 。

[0108] 基于上述实施例,图3为本发明基于移动边缘计算的资源分配系统实施例的模块图,如图3所示,包括:CRB确定模块301,用于基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;分配模块302,用于接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

[0109] 本发明实施例的基于移动边缘计算的资源分配系统,可用于执行图2所示的基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的技术方案,其实现原理和技术效果类似,此处不再

赘述。

[0110] 基于上述实施例,图4为本发明实施例中的AP的框架示意图。请参考图4,本发明实施例提供一种AP,包括:处理器(processor)410、通信接口(Communications Interface)420、存储器(memory)430和总线440,其中,处理器410,通信接口420,存储器430通过总线440完成相互间的通信。处理器410可以调用存储器430中的逻辑指令,以执行如下方法,包括:基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

[0111] 本发明实施例公开一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法实施例所提供的资源分配方法,例如包括:基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

[0112] 基于上述实施例,本发明实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述各方法实施例所提供的资源分配方法,例如包括:基于无线访问接入点AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,确定所述AP所需的最优物理资源块CRB数目,并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器;接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB,并将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端,其中,所述若干个CRB是所述边缘服务器基于所述最优CRB数目,通过一对多的匹配算法确定的。

[0113] 基于上述实施例,图5为本发明基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的流程图,如图5所示,包括:S501、接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0114] 具体地,本实施例的执行主体为边缘服务器。

[0115] 具体地,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,含义为:以所有AP的优先级由高到低的顺序,给AP分配CRB,直至可分配的CRB分配完成。

[0116] 本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,能够使得边缘服务器的效益最大化。

[0117] 基于上述实施例,所述接收边缘服务器对应的若干个AP确定的每一AP所需的最优CRB数目,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB

数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,之前还包括:将所述若干个AP中每一AP按照对应的偏好量设置优先级;其中,所述若干个AP中任一AP对应的偏好量为所述若干个AP中任一AP支付给所述边缘服务器的CRB租借费用,与从所述边缘服务器到所述若干个AP中任一AP的运输成本之差。

[0118] 具体地,本实施例的执行主体为边缘服务器。

[0119] 进一步地,将所述若干个AP中每一AP按照对应的偏好量设置优先级,优选设置成较高的偏好量对应的AP设置成较高的优先级,较低的偏好量对应的AP设置成较低的优先级。

[0120] 基于上述实施例,图6为本发明基于移动边缘计算的资源分配系统实施例的模块图,如图6所示,包括:服务器分配模块601,用于接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0121] 本发明实施例的基于移动边缘计算的资源分配系统,可用于执行图5所示的基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的技术方案,其实现原理和技术效果类似,此处不再赘述。

[0122] 基于上述实施例,图7为本发明实施例中的边缘服务器的框架示意图。请参考图7,本发明实施例提供一种边缘服务器,包括:处理器(processor)710、通信接口(Communications Interface)720、存储器(memory)730和总线740,其中,处理器710,通信接口720,存储器730通过总线740完成相互间的通信。处理器710可以调用存储器730中的逻辑指令,以执行如下方法,包括:接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0123] 本发明实施例公开一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法实施例所提供的资源分配方法,例如包括:接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端。

[0124] 基于上述实施例,本发明实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述各方法实施例所提供的资源分配方法,例如包括:接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目,通过一对多的匹配算法,以所有AP的优先级由高到低的顺序,按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目,将可分配的CRB分配给所述若干个AP,以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB,将所述若干个CRB分配给所述

AP对应的若干个终端。

[0125] 基于上述实施例,图8为本发明基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的流程图,如图8所示,包括:S801、接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务。

[0126] 具体地,本实施例的执行主体为终端。

[0127] 基于上述实施例,所述接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务,之前还包括:基于所述AP和所述AP对应的若干个终端之间的斯塔克尔伯格模型,接收所述AP发送的预测最优CRB数目;根据所述预测最优CRB数目,将终端效益函数的一阶导数值为0时的一阶导数带入最优CRB数目计算公式中,获取所需的终端最优CRB数目,并将所述终端最优CRB数目发送至所述AP,以使得所述AP基于对应的若干个终端中所有终端的终端最优CRB数目,获取所述AP所需的最优CRB数目并将所述最优CRB数目发送至边缘服务器以接收所述边缘服务器基于所述最优CRB数目分配的若干个CRB。

[0128] 具体地,本实施例的执行主体为终端。

[0129] 最优CRB数目计算公式为:

$$[0130] \quad q_j^{k*} = \frac{\lambda_j^k}{\mu} + \frac{\lambda_j^k}{\mu \sqrt{\frac{\beta_j^k \cdot r_j^k}{\gamma_j^k}}}。$$

[0131] 对终端的效益函数进行二阶求导,如下:

$$[0132] \quad \frac{\partial^2 W_{k_j}^s}{\partial (q_j^k)^2} = \frac{-2\mu \cdot \gamma_j^k \cdot (\lambda_j^k)^2}{(\mu \cdot q_j^k - \lambda_j^k)^2}。$$

[0133] 由于二阶导数始终为负值,可以推导出终端的效益函数的一阶导数单调递减,原函数为凸函数。由函数性质不难得到,当一阶导数值 $\frac{\partial W_{k_j}^s}{\partial q_j^k}$ 取0时,可获得最大效益。

[0134] 终端效益函数的一阶导数为:

$$[0135] \quad \frac{\partial W_{k_j}^s}{\partial q_j^k} = -\beta_j^k \cdot r_j^k + \frac{\gamma_j^k \cdot (\lambda_j^k)^2}{(\mu \cdot q_j^k - \lambda_j^k)^2}。$$

[0136] 基于上述实施例,图9为本发明基于移动边缘计算的资源分配系统实施例的模块图,如图9所示,包括:接收模块901,用于接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务。

[0137] 本发明实施例的基于移动边缘计算的资源分配系统,可用于执行图8所示的基于移动边缘计算的资源分配方法实施例的技术方案,其实现原理和技术效果类似,此处不再赘述。

[0138] 基于上述实施例,图10为本发明实施例中的终端的框架示意图。请参考图10,本发明实施例提供一种终端,包括:处理器(processor) 1010、通信接口(Communications Interface) 1020、存储器(memory) 1030和总线1040,其中,处理器1010,通信接口1020,存储器1030通过总线1040完成相互间的通信。处理器1010可以调用存储器1030中的逻辑指令,以执行如下方法,包括:接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB

执行业务。

[0139] 本发明实施例公开一种计算机程序产品,所述计算机程序产品包括存储在非暂态计算机可读存储介质上的计算机程序,所述计算机程序包括程序指令,当所述程序指令被计算机执行时,计算机能够执行上述各方法实施例所提供的资源分配方法,例如包括:接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务。

[0140] 基于上述实施例,本发明实施例提供一种非暂态计算机可读存储介质,所述非暂态计算机可读存储介质存储计算机指令,所述计算机指令使所述计算机执行上述各方法实施例所提供的资源分配方法,例如包括:接收AP基于边缘服务器分配的若干个CRB分配的CRB,基于所述CRB执行业务。

[0141] 需要说明的是,表1为本发明实施例中的符号对应表,本发明实施例中出现的符号请参考表1。

[0142] 表1本发明实施例中的符号对应表

[0143]

符号	含义
K	AP 总数
M_k	第 k 个 AP 中有卸载业务需求的终端数目
M	CRB 总数
A	AP 集合
a_k	表示第 k 个 AP
S^k	a_k 中的终端集合
μ	CRB 服务速率
λ_j	第 j 个终端要求的卸载速率
s_j^k	a_k 覆盖范围内的第 j 个终端
t_j	第 j 个终端的服务延时
o_j	第 j 个终端在服务器上的排队延时
h_j	第 j 个终端在网络中传输、交换等延时开销

[0144]

q_j	第 j 个终端需要的 CRB 数目
l_j^k	从传感器到 AP 和从 AP 到第 j 个终端的总距离
$W_{k_j}^s$	s_j^k 完成工作量的总效益
W_k^a	a_k 的总效益
W^o	边缘服务器总效益
$\alpha_j^k, \beta_j^k, \gamma_j^k$	s_j^k 的效益函数中的权重系数
r_j^k	AP 向第 j 个终端设立的 CRB 购买价格
p_k	AP 支付给边缘服务器的 CRB 租借费用
c_k	从边缘服务器到 AP 的运输成本
Q_k	AP 希望从 MEC 服务器分配到的 CRB 数目
\bar{Q}_k	AP 实际得到的 CRB 数目
t_{th}	终端执行业务的时延上限

[0145] 本领域普通技术人员可以理解：实现上述设备实施例或方法实施例仅仅是示意性的，其中所述处理器和所述存储器可以是物理上分离的部件也可以不是物理上分离的，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性的劳动的情况下，即可以理解并实施。

[0146] 通过以上的实施方式的描述，本领域的技术人员可以清楚地了解到各实施方式可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现，当然也可以通过硬件。基于这样的理解，上述技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品可以存储在计算机可读存储介质中，如U盘、移动硬盘、ROM/RAM、磁碟、光盘等，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备）执行各个实施例或者实施例的某些部分所述的方法。

[0147] 下面以一个具体的实例来进一步描述本发明实施例的资源分配方法的效益。

[0148] 通过matlab仿真对算法进行验证。根据MEC场景下智能家居系统的结构和运行原理，仿真模型中有一个边缘服务器，5个AP，每个AP覆盖范围内有若干个终端。AP均分布在距边缘服务器10km的范围内，每个AP包含的终端数目为均值为20的随机生成数，它们分布在距离AP 1km的范围内。边缘服务器可以分配的CRB总数为1000，在收到AP请求后根据优先级将计算资源分配给AP，然后由AP对用户进一步分配。将CRB的服务速率设为 0.1 (ms)^{-1} ，每个终端要求的卸载速率以为 0.5 (ms)^{-1} 为均值、正态分布的随机数，终端能容忍的时延上限为

60ms。终端的效益函数中出现的参数 α, β, γ 依次设为50, 0.01, 0.001。

[0149] 图11为本发明实施例中的不同AP数目结构下随可分配CRB数目增加时边缘服务器的效益的变化曲线图,图12为本发明实施例中的不同AP数目结构下随可分配CRB数目增加时AP的效益的变化折线图,图13为本发明实施例中的不同AP数目结构下随可分配CRB数目增加时终端的效益的变化折线图,AP数目分别设为5, 10, 15, 20。由图11可以看出,随着CRB数目增长,边缘服务器的效益持续增大,达到定值后,效益趋于稳定。图12中,AP总效益增大,达到一个定值后趋于稳。图13中,终端增长阶段效益与CRB接近正比,随后AP数目 $K=5$ 时,曲线率先达到稳定值,其他曲线继续增长,说明终端需求还未达到饱和,直到最后AP=20的系统也达到定值。综合图11至图13,达到稳定后终端、AP、边缘服务器得到的效益与铺设的AP数目成正比。当终端需求大于提供CRB数目时,CRB数目越多,各层可获得的收益越大;但当所有终端都能分配到足够的计算资源后,总收益不再变化。结合图形,当 $K=5$ 时,达到饱和所需的CRB数目约为1500; $K=10$ 时,所需的CRB数目约为3500; $K=15$ 时,CRB数目约为4500; $K=20$ 时,对应的CRB约为6000。仿真时设置的CRB数目为1000,小于几种AP设置条件下系统中终端对CRB的需求,从而能明显的看出其他变量对收益的影响,验证算法的性能。

[0150] 图14为本发明实施例中的不同AP数目下随时延上限增大边缘服务器总效益的群组型三维条形图,图15为本发明实施例中的不同AP数目下随时延上限增大AP总效益的群组型三维条形图,图16为本发明实施例中的不同AP数目下随时延上限增大终端总效益的群组型三维条形图,三幅图中,x轴为AP数目,每个条形组设置的时延上限变化范围为从40ms到140ms,从左至右递增。从图14可以看出,边缘服务器的收益与时延上限为负相关,时延上限越大,边缘服务器效益越低,同时下降速度越来越小。原因是随着时延上限放宽,终端执行任务所需的CRB数目减少,因而边缘服务器从分配CRB得到的利润也随之降低。图15中,在相同的AP数目下,AP总收益随时延上限增大而增大,成线性正相关关系。AP对终端设立的服务价格与时延上限成二次正相关。随着 T 增大,服务价格增长较快,而AP需要支付给服务器的租借价格不变,因此AP得到的效益增加。在图16中,终端总收益与时延上限为负相关关系,与AP数目成正相关。结合对边缘服务器以及AP效益变化的分析,可以发现终端需要的CRB数目减少,但服务价格以更大的幅度增大,使得终端能得到的收益降低。综合图14至图16,虽然每层收益变化不一致,但可以总结出在同一时延条件下,AP数目越多,边缘服务器、AP以及终端的总收益均越高。在无法满足所有用户对CRB的需求情况下,系统中AP数目越多,终端数目越多,越有利于计算资源的合理分配,实现更高的收益。时延上限与服务器、终端收益成负相关,与AP收益成正相关,因此应选择合适的时延上限值,使三者的收益在合理范围内,优选设置的上限为60ms。

[0151] 图17为本发明实施例中的不同AP条件下边缘服务器总收益随终端平均所需服务速率增大的变化图,图18为本发明实施例中的不同AP条件下AP总收益随终端平均所需服务速率增大的变化图。x轴为AP数目,y轴为终端平均所需服务速率 λ 的均值,z轴为总效益。在图17中,边缘服务器收益与服务速率为正相关,服务速率越高,收益越大,且增长速率越来越快。其他条件不变,如果终端要求的服务速率增大,那么其需要获得更多的计算资源来执行业务,因此边缘服务器出售的CRB增加,得到更高收入。同一速率下,收益与AP数目成正相关。由图18发现,随服务速率增大,AP总收益不断减小,当 λ 值大于0.75后,收益变为负值。 λ 值会影响终端所需的CRB数目与和AP设置的服务价格, λ 越大,服务价格越低,AP向终端收取

的效益越低。而AP向服务器租借CRB的价格取决于距离,不受服务速率影响,最终会使得AP从终端收取的收益小于需向边缘服务器支付的总价,总收益降为负数。优选将 λ 设置为0.5,两者效益均为正值。

[0152] 图19为本发明实施例中的不同AP数目下边缘服务器总效益随CRB服务速率增长而变化的阶梯图,图20为本发明实施例中的不同AP数目下AP总效益随CRB服务速率增长而变化的阶梯图,图21为本发明实施例中的不同AP数目下终端总效益随CRB服务速率增长而变化的阶梯图。从图19发现,边缘服务器的效益随CRB服务速率 μ 的增大而递减,最终趋近于0,但始终大于0。这是由于 μ 增大使得执行同样的业务时,终端需要的CRB数目会减少,因此边缘服务器无法达到之前的收益。图20中AP总效益随 μ 的增大而增大,在 μ 取值0.05时,除AP数目为5的情况外,其他条件下的AP收益均为负。 μ 值增大到0.1后,收益都达到了正值,且 μ 值不变时,收益与AP数目成正相关。因此为保证AP获利, μ 的取值不能小于0.1。随着服务速率的增大,收益曲线的增长趋势趋于平缓。由于AP对终端设置的服务价格与 μ 的取值呈正相关,所以AP的收益随之增加。图21中,不同AP数目下终端的收益变化情况不同: $K=5$ 时,终端总收益随 μ 增大而递减,但下降的幅度较小; $K=10,15$ 以及20的情况下,在 $\mu=0.1$ 时达到最大值,随后开始递减,曲线变化趋势相似。综合三图,当 μ 取值不变时,AP数目越多,三层对象都能获得更高效益。 $\mu=0.1$ 时,服务器总收益较大,AP收益均为正。

[0153] 图22为本发明实施例中的在5种AP数目下的边缘服务器效益和其它方法的效益对比条形图,请参考图22,在同样的终端与负载条件下,采用算法对资源合理分配使得服务器获得的收益始终高于按照AP顺序进行分配时服务器的效益,在AP数目较少时,由于终端的需求较小,可分配的CRB数目足够满足用户的计算要求,所以两者收益差距较小。但是随着AP数目增长,本发明实施例的优越性开始体现,差距逐渐拉大。受终端数目以及服务速率的随机性影响,直接按序分配时,服务器获得的收益极不稳定,容易受极端价格的影响,可能出现图中所示的AP数目增多而收益降低的情况。而采用本发明实施例提供的资源分配方法时,服务器可以在所有AP中选择最优情况优先分配计算资源,在拥有同等CRB数目时,能满足更多用户的需求,达到最优收益。总而言之,在同等带宽资源条件下,基于博弈论和匹配的计算资源分配算法可以使边缘计算的服务器获得更稳定和更高的收益,从而证明了本发明实施例提供的资源分配方法的优越性与合理性。

[0154] 本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法,通过设置资源分配系统架构,能够提高带宽效率,解决了现有技术中存在的耗费大量时延,且增加了对带宽资源的负担的问题。通过建立斯塔克尔伯格模型,通过一对多的匹配算法进行分配,综合考虑了三层的公平性与效益最大化的问题,满足时延敏感型应用对于时延和速率的需求,使得边缘服务器的效益最大化。本发明很好的利用了移动边缘计算位于网络边缘的优势,考虑了无线访问接入点。本发明实施例提供的基于移动边缘计算的资源分配方法能够使得边缘服务器的效益最大。本发明实施例充分利用了移动边缘计算平台可以将业务卸载服务器上处理的优势,满足业务对于低时延和高速率的需求,减少额外的部署成本,同时提高带宽效率,减轻给核心网络带来的堵塞。

[0155] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;

而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

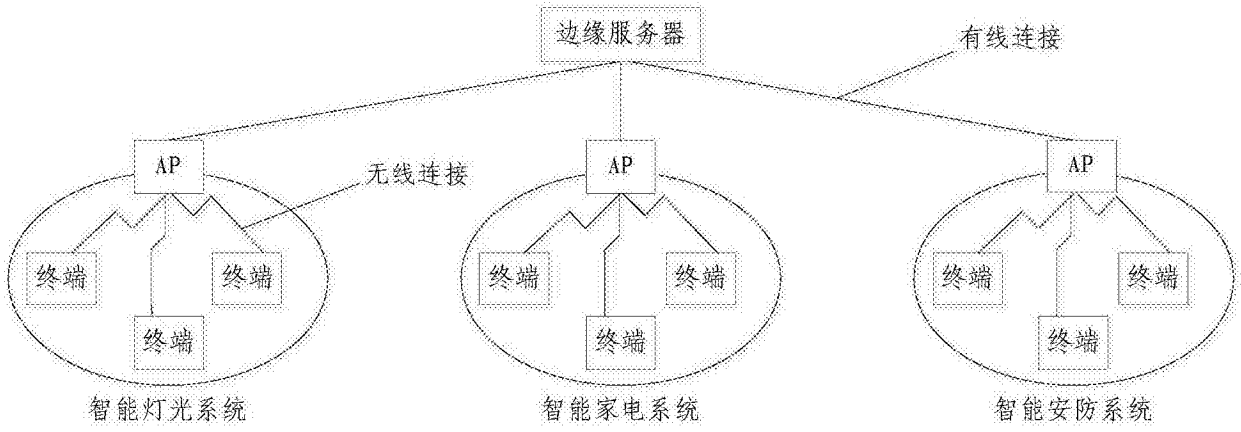


图1

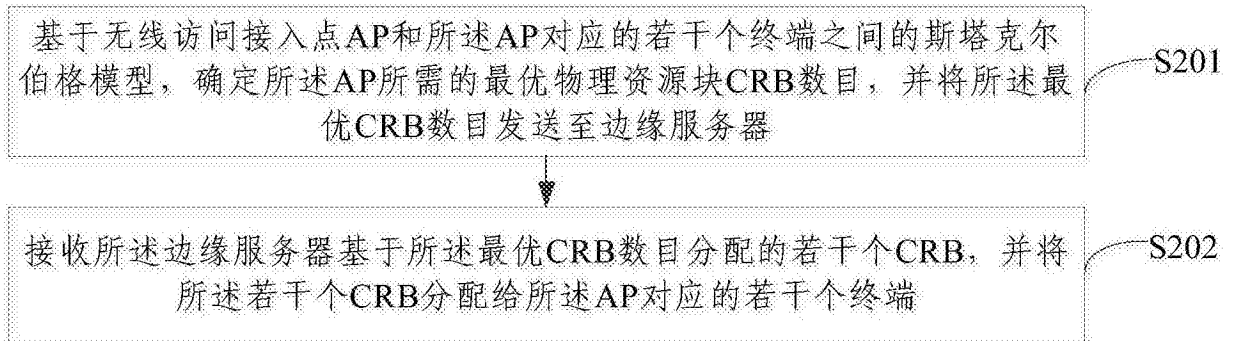


图2

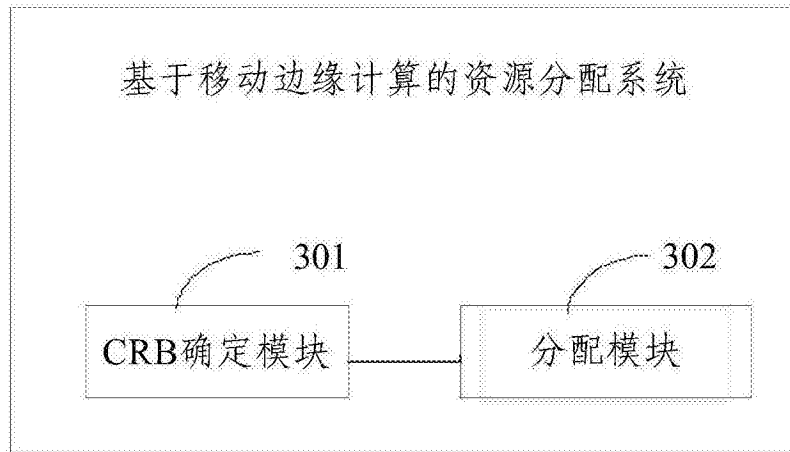


图3

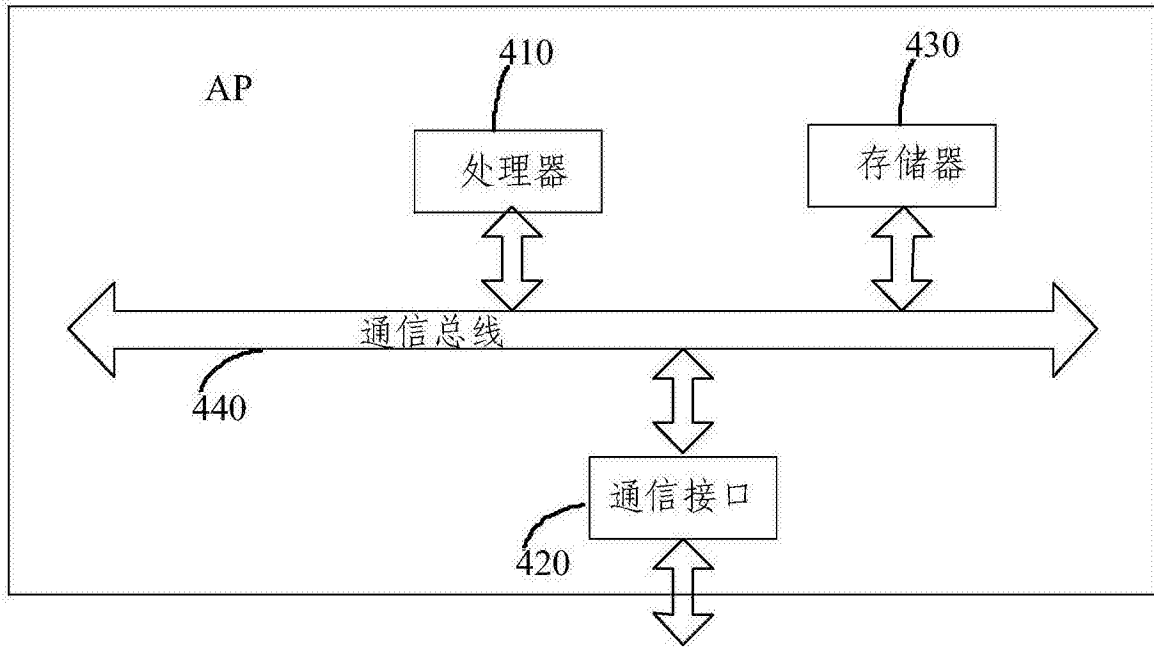


图4

接收边缘服务器对应的若干个AP中每一AP确定的所需的最优CRB数目，通过一对多的匹配算法，以所有AP的优先级由高到低的顺序，按照所述若干个AP中每一AP所需的最优CRB数目，将可分配的CRB分配给所述若干个AP，以使得分配到CRB的任一AP接收到所述边缘服务器分配的若干个CRB，将所述若干个CRB分配给所述AP对应的若干个终端

S501

图5

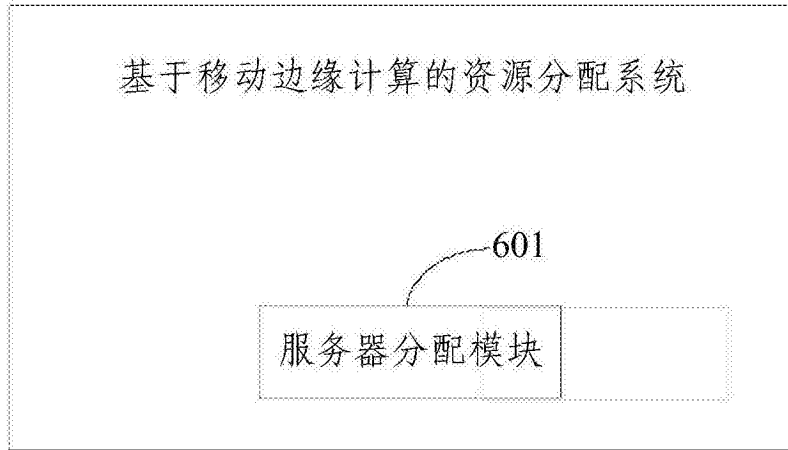


图6

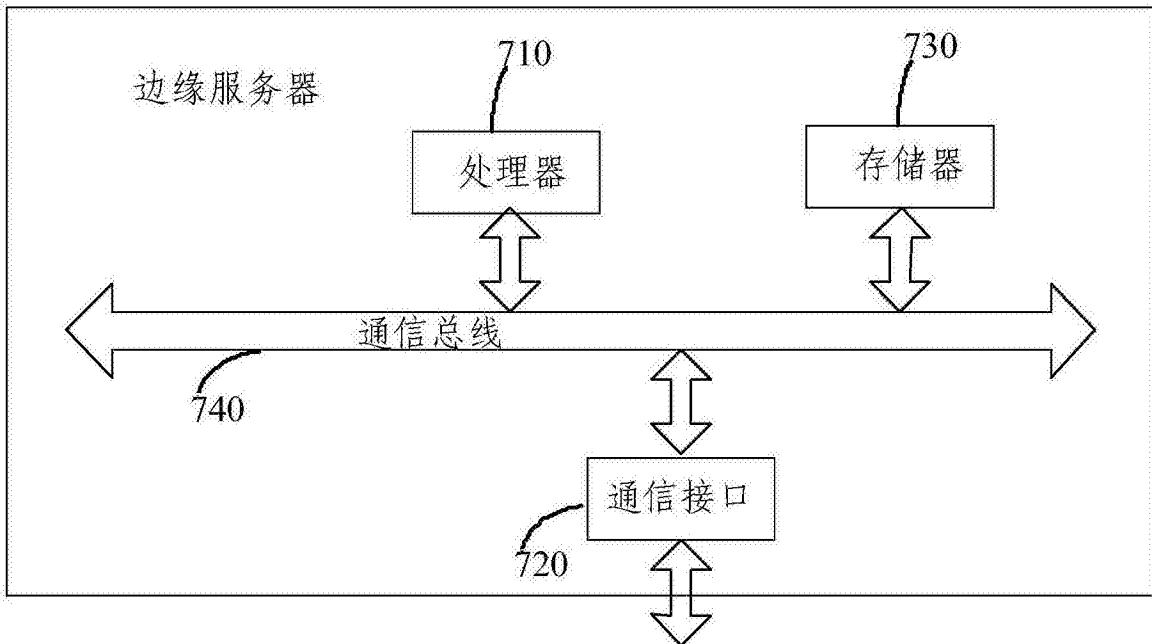


图7



图8

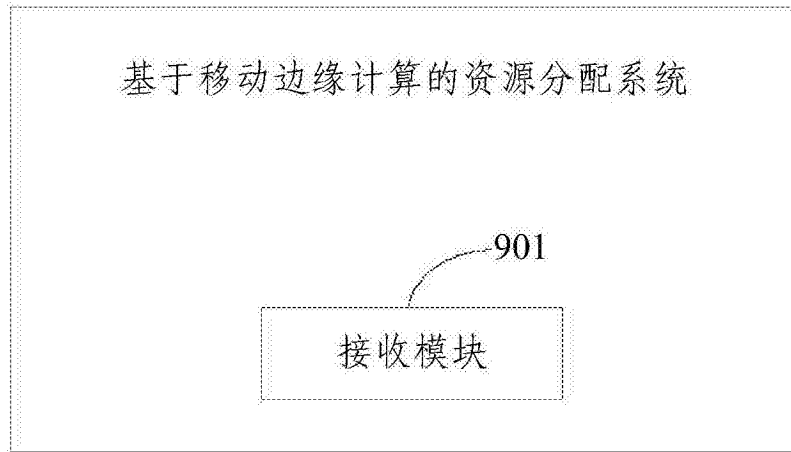


图9

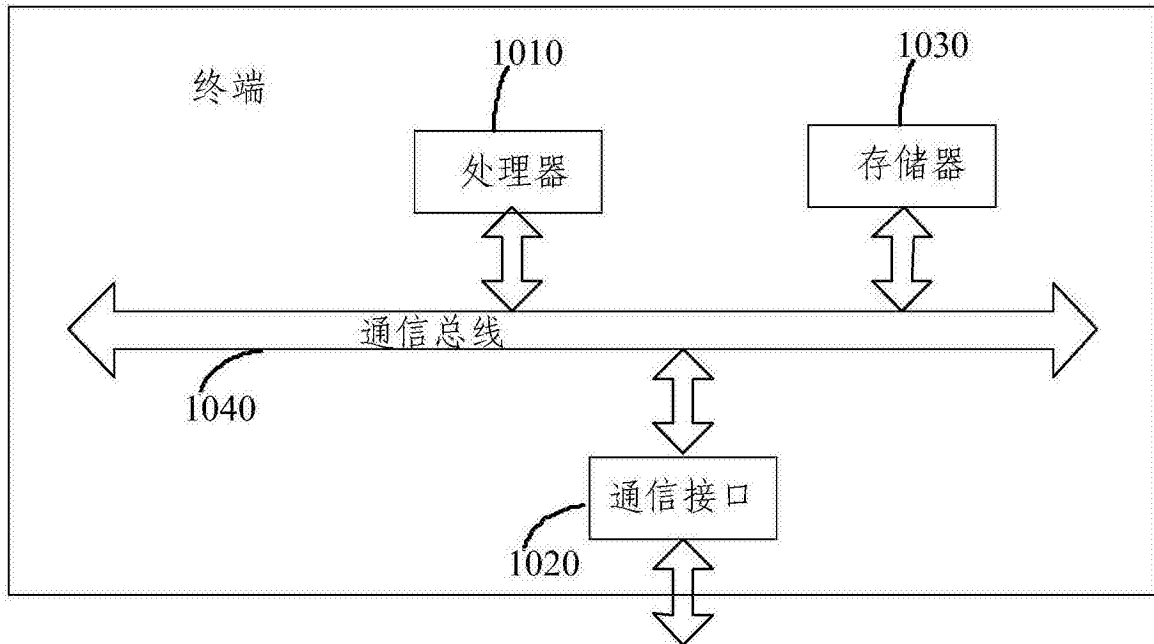


图10

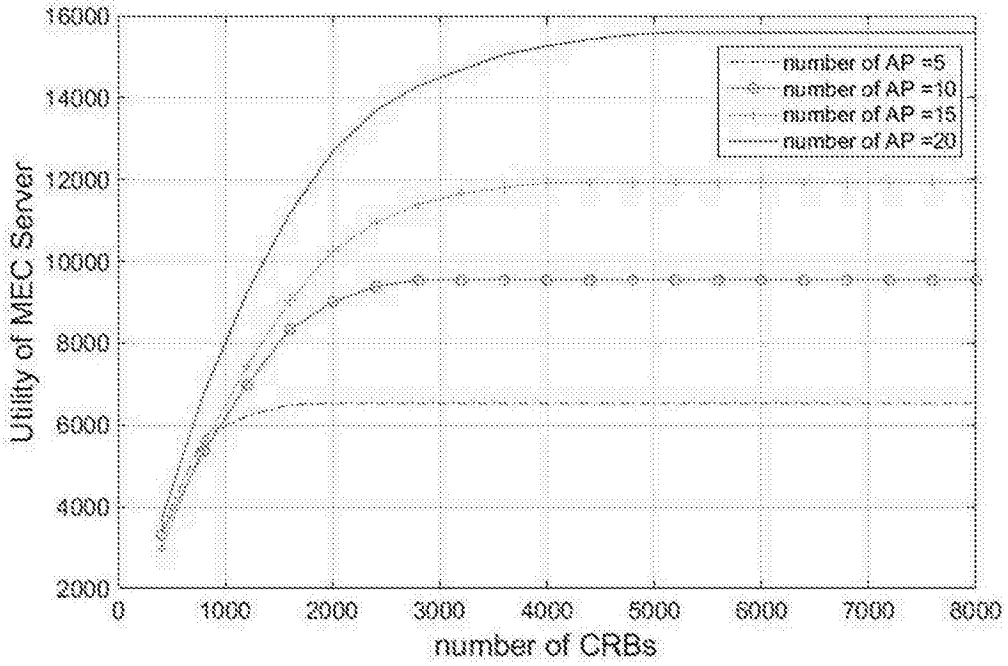


图11

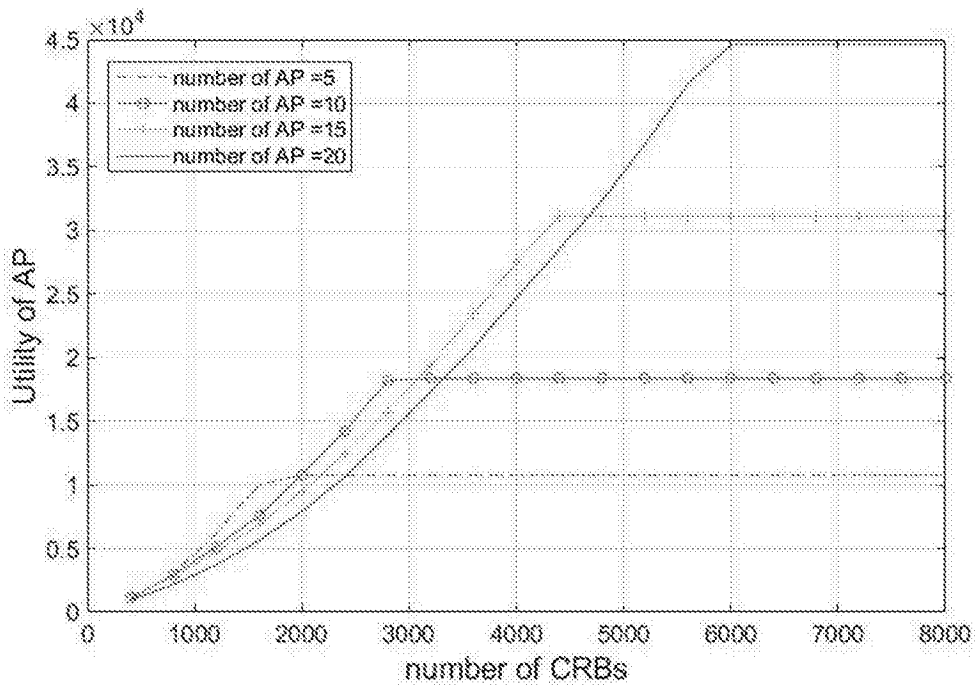


图12

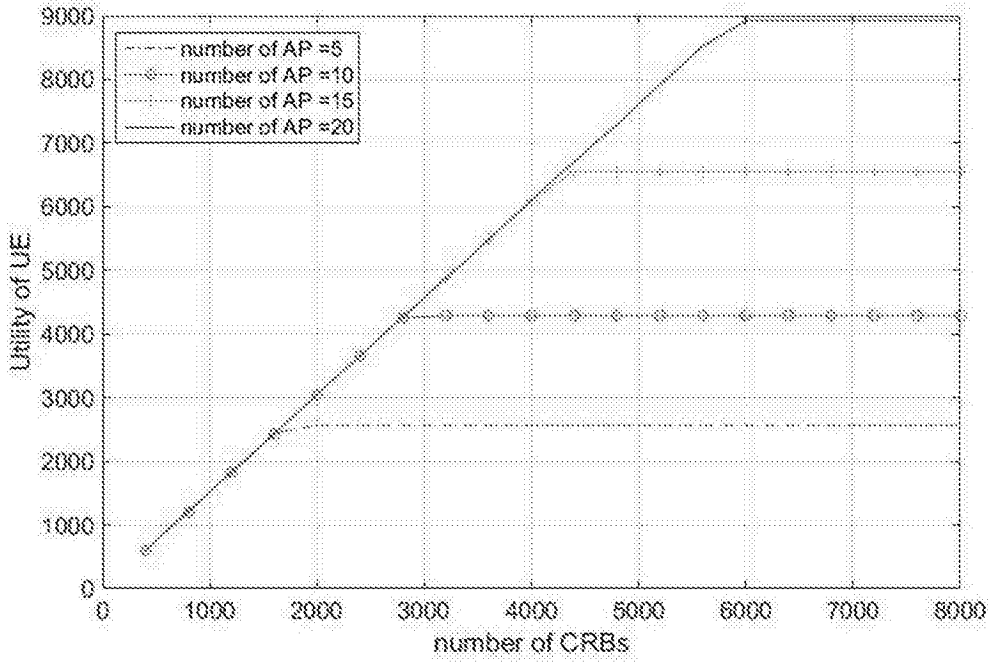


图13

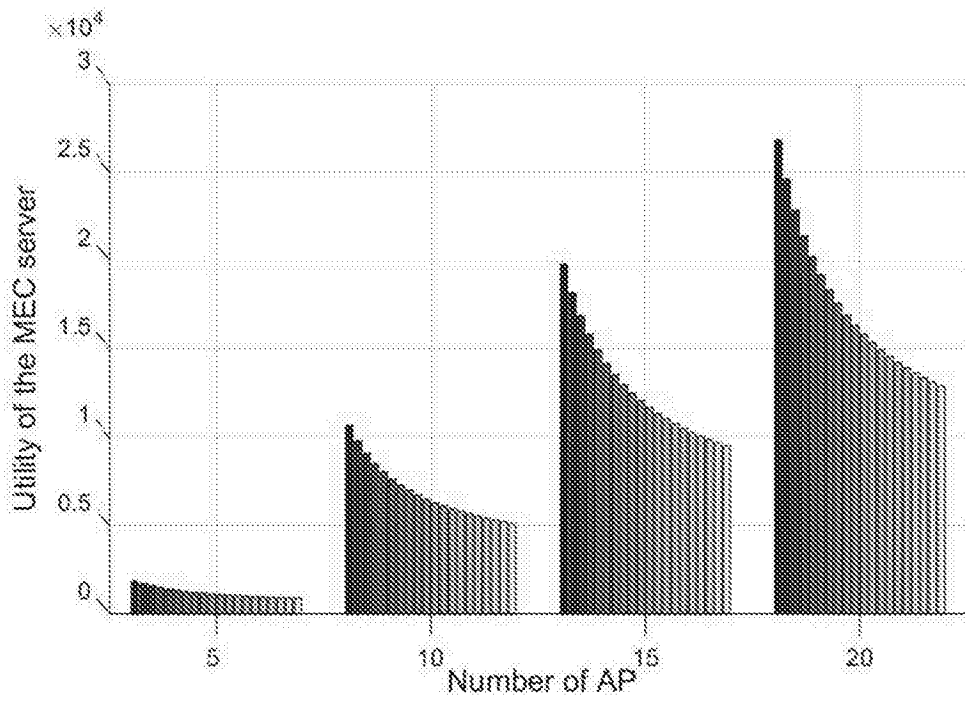


图14

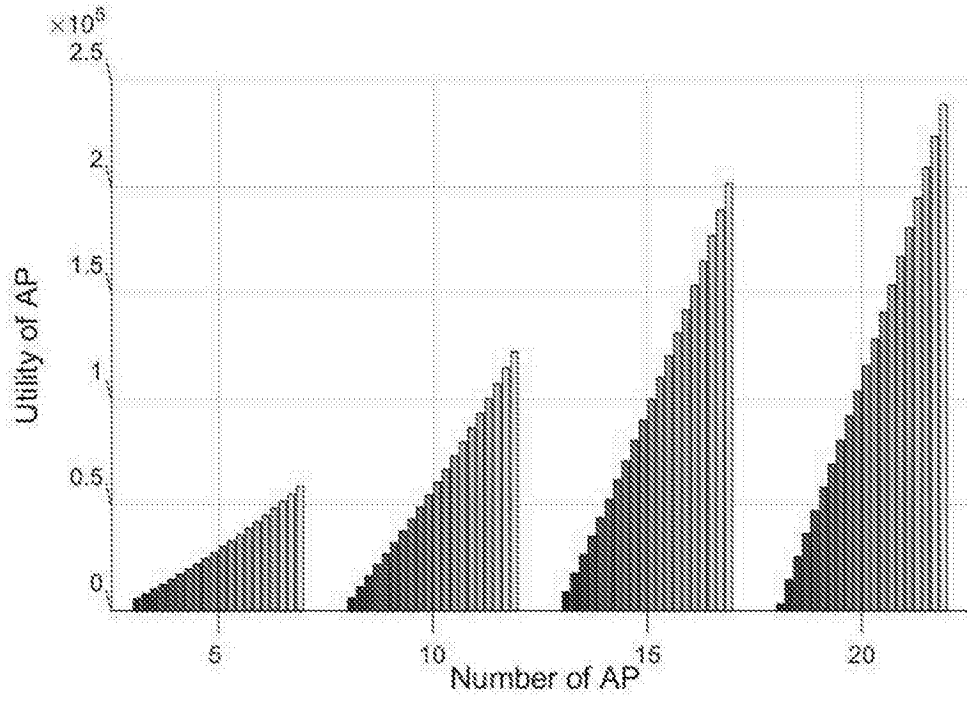


图15

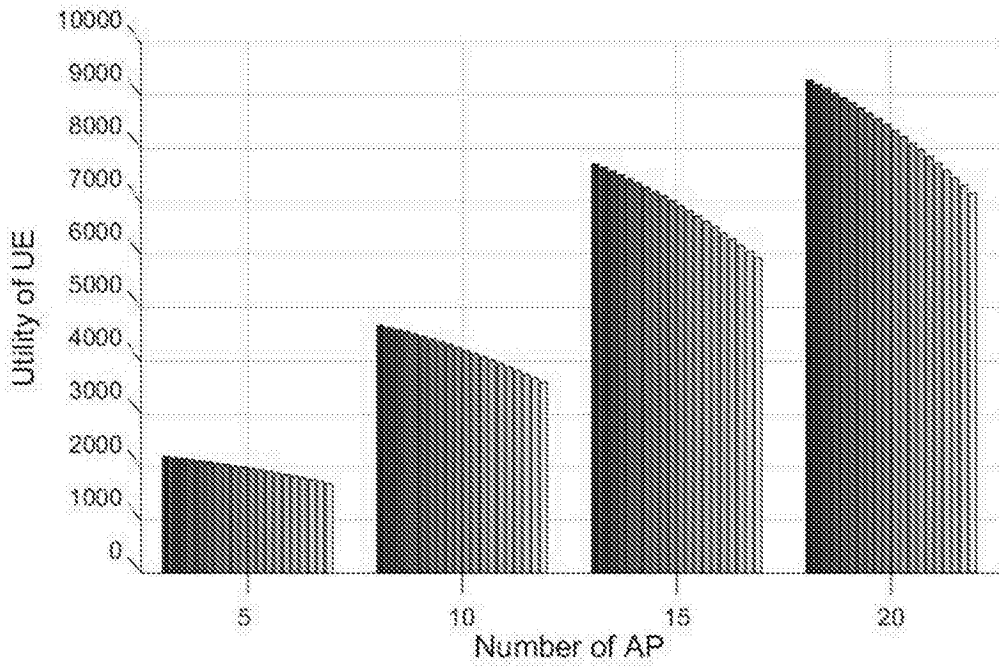


图16

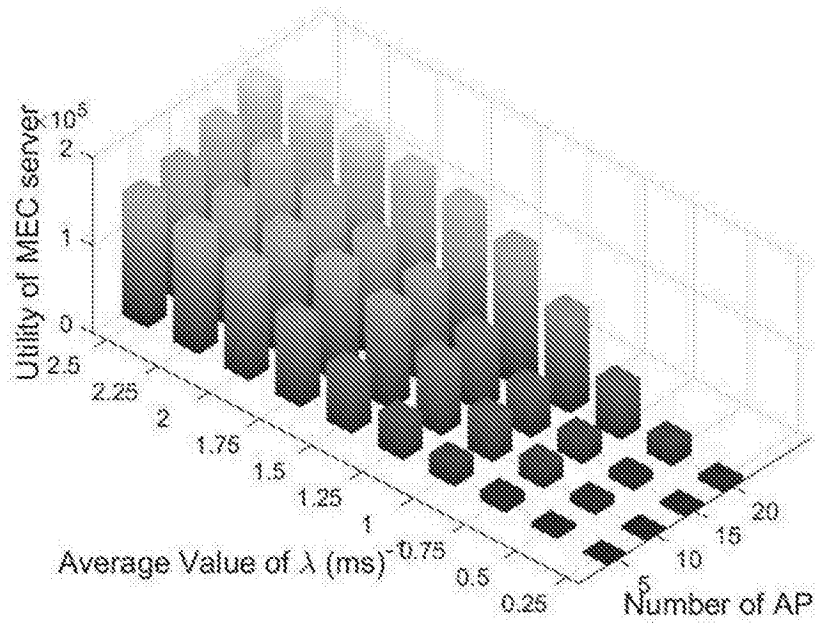


图17

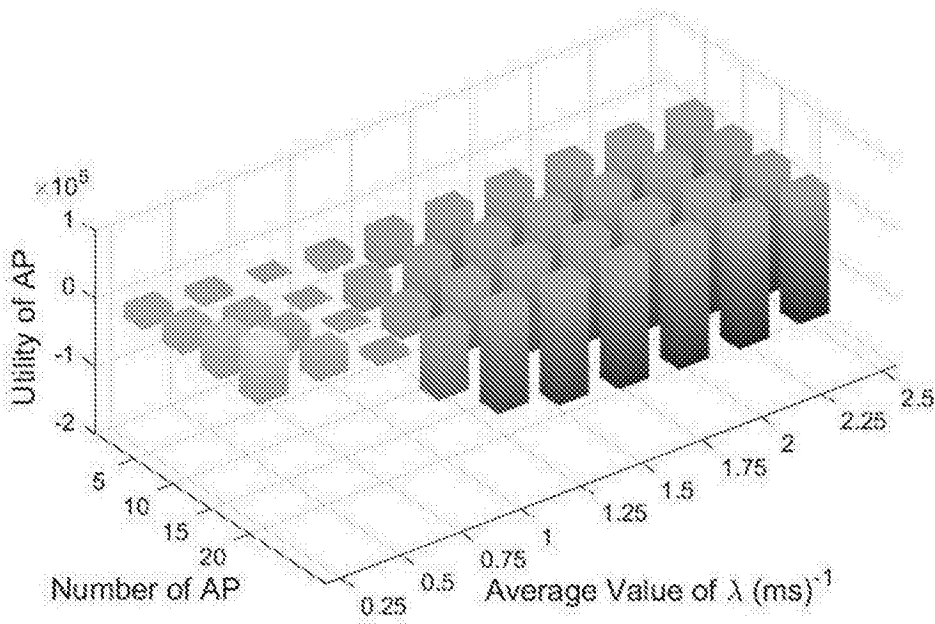


图18

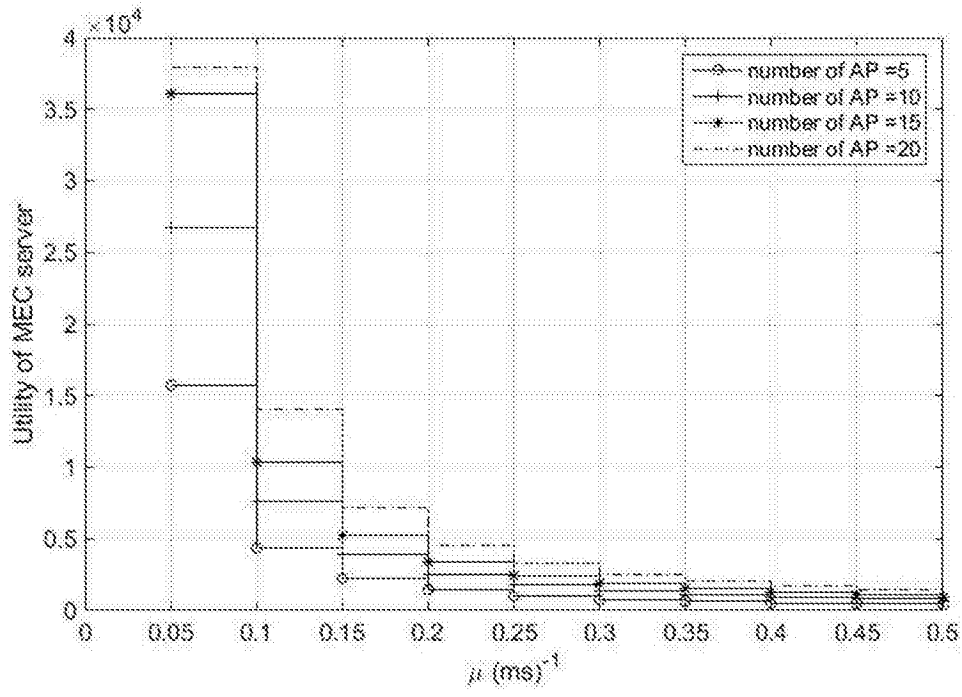


图19

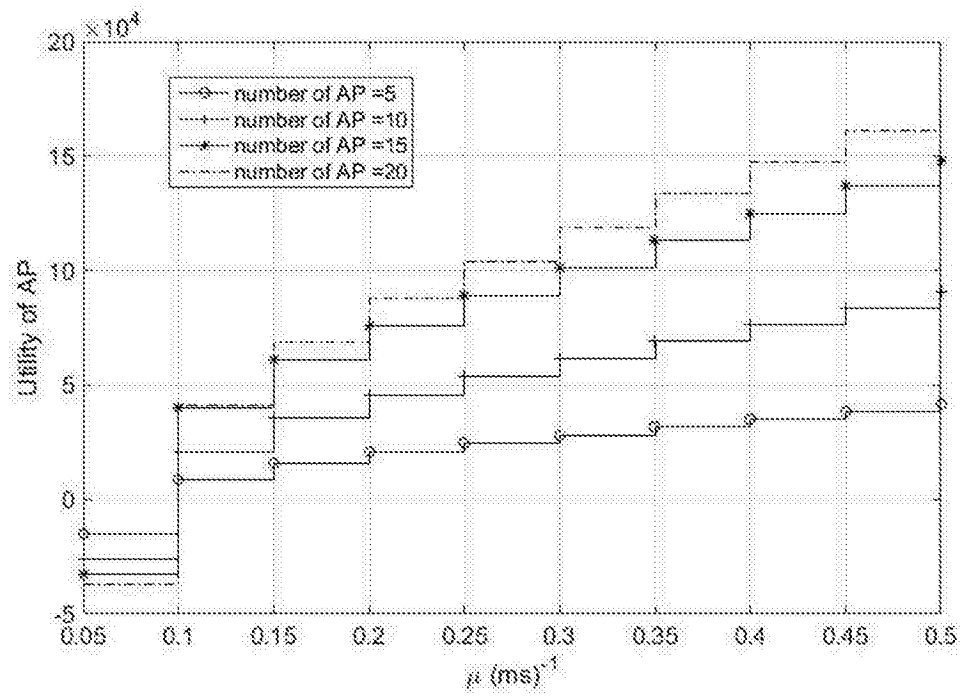


图20

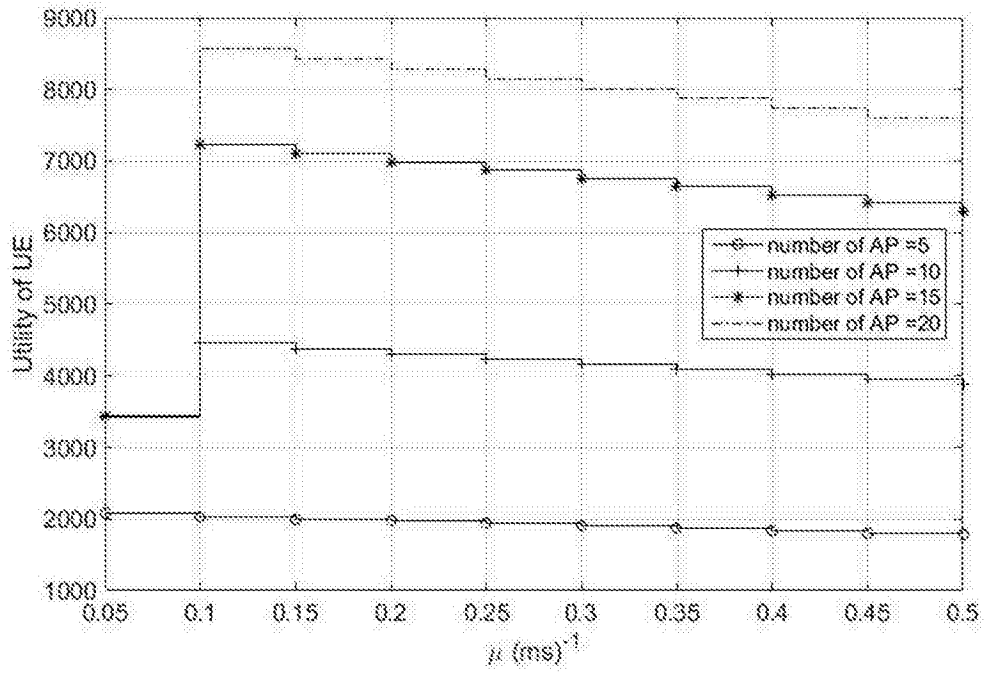


图21

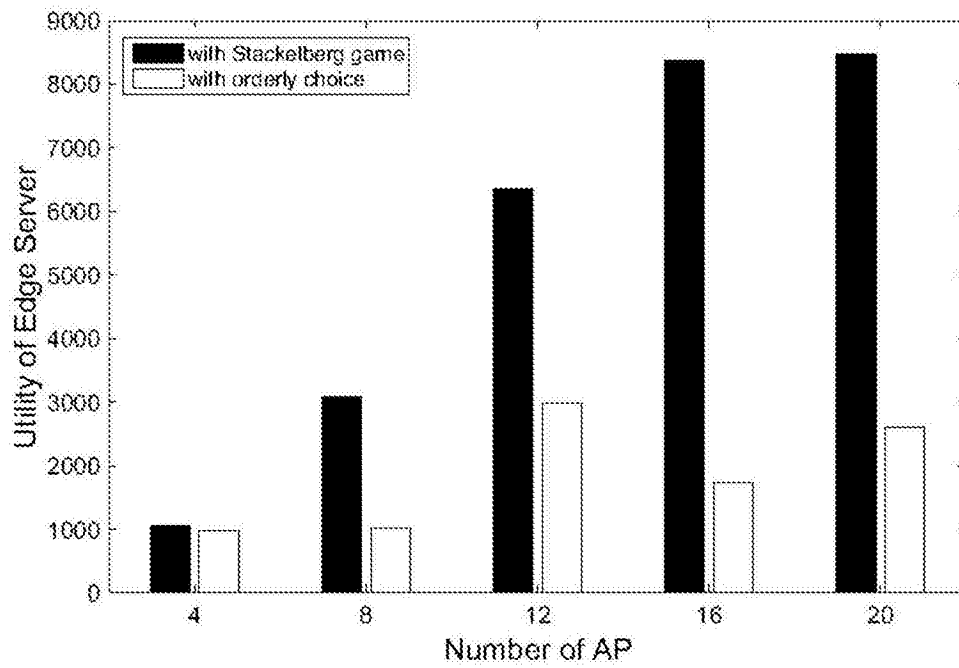


图22