



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113519182 A

(43) 申请公布日 2021. 10. 19

(21) 申请号 202080017517.5

(22) 申请日 2020.02.27

(30) 优先权数据

62/812,086 2019.02.28 US

62/812,149 2019.02.28 US

62/861,979 2019.06.14 US

62/861,993 2019.06.14 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.08.27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/020242 2020.02.27

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/176810 EN 2020.09.03

(71) 申请人 阿西亚SPE有限责任公司

地址 美国特拉华

(72) 发明人 J·乔菲 黄赞洙 K·凯佩

J·欧 I·卡内拉科普洛斯

P·周

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 刘文灿

(51) Int. Cl.

H04W 28/16 (2006.01)

H04L 12/24 (2006.01)

H04L 12/26 (2006.01)

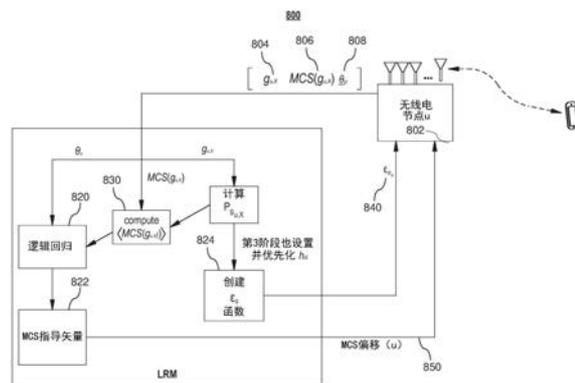
权利要求书2页 说明书42页 附图16页

(54) 发明名称

遍历频谱管理系统和方法

(57) 摘要

介绍了遍历频谱管理 (ESM) 系统和方法, 它们利用统计一致性 (“遍历性”) 和相关性的存在, 例如无线网络的信道增益概率分布 (时间、空间和频率上) 的平均维度一致性, 来自适应地学习定性和定量的网络/用户行为; 估计或预测网络性能; 并以诸如减少干扰和改善延时之类的方式指导本地实施的无线多用户传输的无线电资源管理 (RRM) 决策; 连接稳定性; 效率; 以及整体无线性能。ESM还通过允许在用户/设备漫游时跨频段和区域移动, 来提高最终用户的体验质量 (QoE)。ESM的学习型资源管理器 (LRM) 的基于远程云的资源管理实施方式消除了对靠近无线电小区的繁重边缘计算的需要。



1. 一种用于提高无线通信系统的体验质量 (QoE) 的系统,所述系统包括:  
多个接入节点中的第一接入节点,所述第一接入节点收集数据,所述数据包括已经针对所述无线通信系统中的一个或多个信道获得的信道增益的概率分布;以及  
耦合到所述第一接入节点的处理器,所述处理器通过执行步骤来识别用户或网络行为,所述步骤包括:  
在管理接口处接收所收集的数据;  
执行遍历分析,使得所收集的数据内的一致使用模式被用于确定满足一个或多个约束的策略;以及  
向所述多个接入节点中的至少一个接入节点提供所述策略,以使得所述至少一个接入节点调整一个或多个参数以改善所述无线通信系统的体验质量 (QoE)。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述处理器是学习型资源管理器 (LRM)。
3. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述遍历分析基于在信道内提取的一致模式连同所收集的反馈数据而被执行。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中,所收集的反馈数据从以下各项中的至少一项提供:用户、网络运营商、消费者设备、以及网络设备或系统。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所收集的数据包括以下各项中的至少一项:几何平均信道增益、参考信号接收功率、参考信号接收质量、干扰数据、以及噪声数据。
6. 根据权利要求1所述的系统,其中,确定所述策略包括:使用所收集的数据来预测一组传输参数。
7. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述一组传输参数包括以下各项中的至少一项:调制和编码系统 (MCS) 参数、能量参数、波束成形参数、预编码器参数、以符号周期为单位的传输持续时间、信道频率索引、以及码率参数。
8. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述处理器通过使用以下各项中的至少一项来确定所述策略:遍历注水方法、遍历迭代注水方法、遍历频谱管理 (ESM) 第1阶段迭代注水、ESM 第2阶段最佳频谱平衡、ESM第2阶段正交维数划分 (ODD) 方法、ESM第3阶段方法、梯度下降法以及任何其他形式的迭代优化方法。
9. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述处理器使用服务质量 (QoS) 数据和所收集的反馈数据中的至少一个来估计QoE参数,所述QoS数据与线路状况相关。
10. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述处理器将所述信道增益的概率分布离散为与不同MCS参数相对应的观察间隔。
11. 一种用于提高无线通信系统的体验质量 (QoE) 的方法,所述方法包括:  
接收所收集的数据,所收集的数据包括已经由所述无线通信系统中的一个或多个信道获得的信道增益的概率分布;  
执行遍历分析,使得所收集的数据内的一致使用模式被用于确定满足一个或多个约束的策略;以及  
向所述无线通信系统内的多个接入节点中的至少一个接入节点提供所述策略,所述策略使得所述至少一个接入节点调整一个或多个参数以改善所述无线通信系统的体验质量 (QoE)。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中,执行遍历分析的步骤是由学习型资源管理器执

行的。

13. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述遍历分析基于信道内提取的一致模式连同所收集的反馈数据而被执行。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中,所收集的反馈数据是从以下各项中的至少一项提供的:用户、网络运营商、消费者设备、以及网络设备或系统。

15. 根据权利要求11所述的方法,其中,所收集的数据包括以下各项中的至少一项:几何平均信道增益、参考信号接收功率、参考信号接收质量、干扰数据、以及噪声数据。

16. 根据权利要求11的方法,其中,确定所述策略的步骤包括使用所收集的数据来预测一组传输参数。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述一组传输参数包括以下各项中的至少一项:调制和编码系统(MCS)参数、能量参数、波束成形参数、预编码器参数、以符号周期为单位的传输持续时间、信道频率索引、以及码率参数。

18. 根据权利要求11所述的方法,其中,确定所述策略的步骤使用以下各项中的至少一项:遍历注水方法、遍历迭代注水方法、遍历频谱管理(ESM)第1阶段迭代注水、ESM第2阶段最佳频谱平衡、ESM第2阶段正交维数划分(ODD)方法、ESM第3阶段方法、梯度下降法、以及任何其他形式的迭代优化方法。

19. 根据权利要求11所述的方法,其中,确定所述策略的步骤使用服务质量(QoS)数据和所收集的反馈数据中的至少一个来估计QoE参数,所述QoS数据与线路状况相关。

20. 一个或多个非暂时性计算机可读介质,包括指令的一个或多个序列,所述指令当由至少一个处理器执行时,使得步骤被执行,所述步骤包括:

接收所收集的数据,所收集的数据包括已经由无线通信系统中的一个或多个信道获得的信道增益的概率分布;

执行遍历分析,使得所收集的数据内的一致使用模式被用于确定满足一个或多个约束的策略;以及

向所述无线通信系统内的多个接入节点中的至少一个接入节点提供所述策略,所述策略使得该所述至少一个接入节点调整一个或多个参数以改善所述无线通信系统的体验质量(QoE)。

## 遍历频谱管理系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请根据美国专利法第119条(e)款要求以下申请的优先权:2020年2月27日提交PCT专利申请序号PCT/US20/20242,题为“Ergodic Spectrum Management Systems and Methods”,并将John M.Cioffi、Chan-Soo Hwang、Kenneth J.Kerpez、Jisung Oh、Ioannis Kanellakopoulos和Peter Chow列为发明人;2019年6月14日提交的美国专利申请序号62/861,993,题为“Ergodic Spectrum Management Systems and Methods”,并将John M.Cioffi、Chan-Soo Hwang和Kenneth Kerpez列为发明人;于2019年2月28日提交的共同待决和共同拥有的美国专利申请序号62/812,086,题为“Systems and Methods for Ergodic Spectrum Management”,并将John M.Cioffi、Chan-Soo Hwang、Jisung Oh、Ioannis Kanellakopoulos、Peter Chow和Kenneth Kerpez列为发明人;于2019年2月28日提交的共同待决和共同拥有的美国专利申请序号62/812,149,题为“Ergodic Spectrum Management (ESM)”,并将John M.Cioffi列为发明人;于2019年6月14日提交的美国专利申请序号62/861,979,题为“Ergodic Spectrum Management Systems and Methods”,并将John M.Cioffi、Chan-Soo Hwang和Kenneth Kerpez列为发明人。该专利文件中提及的每篇参考文献均通过引用整体并入本文。

### 发明领域

[0003] 本公开一般涉及通信系统中的资源管理。更具体地,本公开涉及利用诸如遍历频谱管理(Ergodic Spectrum Management,ESM)之类的随机优化系统和方法的通信系统中的资源管理。

### 背景技术

[0004] 随着现代通信系统中带宽的扩大,无线电资源管理(RRM)越来越多地利用在授权(licensed)和未授权(unlicensed)(例如,Wi-Fi)频谱的实例相关设计中出现较慢的相对时间变化(相对于更宽的带宽)。然后,无线RRM越来越接近于有线铜缆网络中使用的动态频谱管理(DSM)慢时变方法,其中无线RRM和有线DSM中的瞬时信道都被假定准确跟踪/学习。一些DSM方法是无线系统扩展的前身(predecessor of what wireless systems expand upon),被称为“非正交多路访问”或NOMA。传统RRM依赖于低延时资源分配,导致计算能力被置于更靠近无线电小区,通常称为“边缘计算”或“雾计算”。这种传统的RRM假定对边缘计算必须快速响应于的所有信道、噪声和干扰水平的了解几乎是即时的。

[0005] 因此,期望通过将计算移至云端来减少对边缘处RRM计算的需求并改进现有无线电资源管理,特别是将非授权频谱使用效率提高到与授权频谱相关联的水平或超过该水平。

### 附图说明

[0006] 将参考本公开的实施例,其示例可以在附图中示出。这些图旨在说明而非限制。尽

管在这些实施例的上下文中大体上描述了所附公开,但是应当理解,其不旨在将本公开的范围限制于这些特定实施例。图中的项目可能未按比例绘制。

[0007] 图1图示了根据本公开的实施例的ESM系统架构。

[0008] 图2图示了根据本公开的实施例的均可以具有若干个“维度(dimension)”的四个单用户信道。

[0009] 图3图示了根据本公开的实施例的在任何阶段的ESM生态系统中的管理信息流。

[0010] 图4是根据本公开的实施例的用于迭代注水(IW)的说明性过程的流程图。

[0011] 图5图示了根据本公开的实施例的迭代注水的功能。

[0012] 图6图示了根据本公开的实施例在IW的情况下LRM对两个无线电节点用户的潜在使用和指导的示例。

[0013] 图7图示了根据本公开的实施例的示例性自适应处理器。

[0014] 图8图示了根据本公开的实施例的用于单个用户的示例性ESM过程。

[0015] 图9图示了根据本公开的实施例的包括用于特定无线电节点的MCS参数选择的示例性LRM的状态转换表(隐马尔可夫模型)。

[0016] 图10图示了呼叫/分派与连接QoE的LM/ESM声明为好、差或很差的ESM现场诊断相关性。

[0017] 图11图示了使用本公开的实施例的不同全局区域中的ESM QoE改进结果。

[0018] 图12描绘了使用本公开的实施例的吞吐量(定义为在一段时间内实际传送的用户数据量)的简单QoS度量。

[0019] 图13描绘了根据本公开的实施例的包括多个接入点的无线LAN网络。

[0020] 图14描绘了根据本公开的实施例的用于包括一个或多个Wi-Fi和/或LTE信道的无线通信系统的一般化的随机接入(generalized random access)。

[0021] 图15描绘了根据本公开的实施例的空间随机接入。

[0022] 图16描绘了根据本发明实施例的信息处理系统的简化框图。

## 具体实施方式

[0023] 在以下描述中,为了解释的目的,阐述了具体细节以提供对本公开的理解。然而,对于本领域技术人员显而易见的是,可以在没有这些细节的情况下实践本公开。此外,本领域技术人员将认识到,以下描述的本公开的实施例可以以多种方式来实现,例如过程、装置、系统/设备或有形计算机可读介质上的方法。

[0024] 图中所示的组件或模块是对本公开的示例性实施例的说明并且意在避免混淆本公开。还应当理解,贯穿本讨论,组件可被描述为单独的功能单元,其可包括子单元,但本领域技术人员将认识到,各种组件或其部分可被划分为单独的组件或可集成在一起,包括集成在单个系统或组件中。应当注意,这里讨论的功能或操作可以实现为组件。组件可以以软件、硬件或其组合来实现。

[0025] 此外,图中的组件或系统之间的连接不旨在限于直接连接。相反,这些组件之间的数据可以被中间组件修改、重新调整格式或以其他方式改变。此外,可以使用更多或更少的连接。还应当注意,术语“耦合”、“连接”或“通信耦合”应理解为包括直接连接、通过一个或多个中间设备的间接连接以及无线连接。

[0026] 说明书中对“一个实施例”、“优选实施例”、“实施例”或“各实施例”的引用意味着结合实施例描述的特定特征、结构、特性或功能至少被包括在本公开的一个实施例中并且可以在一个以上的实施例中。此外,在说明书中不同位置出现的上述短语不一定都指代相同的一个或多个实施例。

[0027] 在说明书中不同地方使用的某些术语是为了说明而不应被解释为限制。术语“包括”、“包括有”、“包含”和“包含有”应理解为开放术语,以下任何列表都是示例,并不意味着限于所列项目。

[0028] 服务、功能或资源不限于单个服务、功能或资源;这些术语的使用可以指一组相关的服务、功能或资源,它们可以是分布式的或聚合的。存储器、数据库、信息库、数据存储库、表格、硬件等的使用在本文中可用于指代可以录入或以其他方式记录信息的一个或多个系统组件。术语“数据”、“信息”以及类似的术语可以由指代一组位的其他术语代替,并且可以可互换使用。

[0029] 需要注意的是:(1)可以选择性地执行某些步骤;(2)步骤可以不限于本文阐述的特定顺序;(3)某些步骤可能以不同的顺序执行;并且(4)某些步骤可以同时进行。

[0030] 还应当注意的是,虽然这里描述的某些实施例可以在无线通信网络的上下文内,但是本公开的各方面不限于此。因此,本公开的各方面可以被应用或调整以用于无线通信网络和其他上下文中。

[0031] 在本文档中,“MIMO”是指多输入多输出系统以及每个用户具有多个天线的系统。正交频分复用(OFDM)是指在一组相邻频率维度的全部频率维度上使用相等能量的系统,其经常出现在无线通信标准(如Wi-Fi和LTE)中。术语“瞬时”可以与术语“测量的”互换使用。一组信道可以被称为“频带”并且可以用相同或相似的索引来标记。请注意,在本文档的某些部分中,可能会使用不同的符号和标签来注释类似的变量。例如,E和 $\epsilon$ 可互换地使用以表示能量。在某些部分中,使用了以下符号:

[0032]  $\Gamma$ :容量差距(Gap to the capacity)

[0033] N:子载波数

[0034]  $E_{tot}$ :总能量

[0035]  $E_i$ :子载波i处的能量

[0036]  $h_i$ :子载波i的增益

[0037]  $N_i$ :子载波i处的噪声

[0038]  $I_i$ :子载波i处的干扰

[0039]  $SINR_i$ :信号与干扰加噪声比

$$[0040] \quad SINR_i = \frac{E_i h_i}{I_i + N_i}$$

[0041] 那么,几何SINR为

$$[0042] \quad SINR_{geo} \approx \left[ \prod_i SINR_i \right]^{\frac{1}{N}} = E_{\{tot\}} * g_{geo}$$

[0043] 并且最佳的每子载波比特是

$$[0044] \quad N * \log_2(1 + SINR_{geo}) \approx N * \log_2\left(1 + \left[\prod_i SINR_i\right]^{\frac{1}{N}}\right)$$

[0045] SNR=信噪比

[0046]  $SINR_{geo}$  表示单载波系统中的几何SNR,并且可以是普通单载波(均衡器输出,如果被使用的话) SNR

[0047]  $g_{geo,k}$  = 信道k的有效信道增益

[0048] 需要注意的是,此处使用的任何标题仅用于组织目的,并且不应用于限制说明书或权利要求的范围。本文引用的所有文件通过引用整体并入本文。

[0049] 1. 介绍

[0050] 迄今为止,统计一致性或遍历性(ergodicity)已经实现了几代无线网络的平均无线设计分析和性能预测。这种平均分析允许估计链路预算、数据速率和对应的传输范围。最初,在实际的收发器设计基于瞬时收发器训练/导频分组的同时使用遍历分析,并且通常在其后进行插值。然后,从中采样信道条件的遍历分布上的平均值假定用于每个信道实例的对应瞬时设计。

[0051] 本文提出的ESM方法学习和利用近似遍历性或一致的使用模式来提高连接稳定性和时间、频谱和空间的使用效率。ESM可以通过用于RRM的人工智能和学习方法来简化一些解耦的基于云的延时不敏感频谱指派和调制编码选择的确定。

[0052] 对于ESM与较早的RRM/DSM的区别而言,重要的是体验质量(QoE)相对于服务质量(QoS)的概念。QoE是通过连接用户的满意度来衡量的,通常通过发起人评分、投诉率、纠正措施成本或服务的简单服务流失(取消)来衡量。QoS以比特/分组错误的概率、延时和实现的数据速率来衡量。这两个度量不需要很好地相关。例如,在大多数时间/使用情况下可能会出现非常好的QoS,但在用户容易注意到的情况下仍然可能会发生中断(outage),并且从而导致QoE不佳。可替代地,即使QoS级别低于某些规定级别,但某些链路也可能具有好的QoE,这取决于用户、地点、时间和正在使用的应用。ESM可以更直接地解决QoE,而RRM/DSM解决QoS。

[0053] 图1图示了根据本公开的实施例的ESM系统架构。ESM系统100中的学习型资源管理器(LRM) 102引入了学习和利用任何统计一致性的能力。ESM的LRM 102可以通过提供有关各种小区使用和动态(dynamics)的统计一致性的功能描述来指导此类RRM决策。需要注意的是,LRM 102被称为“学习型”资源管理器,以强调它既学习又被视为智能资源(因为它执行“教师”功能的能力)。

[0054] 图1示出了3个无线电节点110-112及其子节点和/或设备113-119。每个无线电节点的覆盖区域130-134对于它可能主动使用的任何频谱都有其自己的“颜色”(由围绕该区域的线类型表示),并且维度使用可以在无线电节点(或颜色)110-112之间重叠,对应于不同节点信号之间的干扰。设备114、115和117体验到RRM/ESM试图减少或消除的干扰。

[0055] 在实施例中,子节点/设备113-119可以收集和處理任何资源相关数据,例如有效(即,几何平均)信道增益数据 $g$ ,其可以传送到LRM,LRM可以收集数据(例如,用于不同信道的)以及参数。如参考图3和图8更详细地讨论的,在实施例中,LRM 102基于遍历分析使用一些或全部数据来生成策略(或函数)并将该策略/函数传送到节点/设备110-119,例如以表格格式或任何其他数学符号。一旦节点/设备110-119获得策略/函数,它们就可以测量瞬时参数,例如 $g$ ,并将测量值应用到函数以获得理想情况下最适合当前 $g$ 的RRM参数。术语“遍历”正式地(formally)意味着时间平均值等于统计平均值。如本文所用,术语遍历更宽松地

描述某些一致性重复出现。这些一致性可以取决于信道、噪声和干扰的状态。因此,在每个状态中都期望一致但不一定相同的行为。当前状态是在本地确定的,但是可能状态的集合及其对应的频谱、星座大小和代码参数可以由云服务器引导,在图1中,云服务器由LRM 102表示。遍历方法估计(可能与状态相关的)概率分布,这里称为信道增益 $g_n$ ,在下面的第2节中正式定义。确定某个分布的一致性以协助向本地实现的RRM提供ESM指导。第2节还开发了用于信道增益的几何等效模型,该模型对应于无线系统对信道(通常其本身由使用以单用户为中心的(single-user-focused)所谓“正交频分复用”调制系统的许多音调组成)的当天使用。第2节还很大程度上将频谱决策与代码/速率选择解耦,以简化复杂性挑战。

[0056] 第2节还简要回顾了单用户的遍历加载中的已知概念,为第3节中多用户实施例的讨论做准备。第2节将重点从依赖于瞬时信道增益的传统RRM无线系统设计转移到改为指导RRM决策的这些信道增益的ESM学习型概率分布和相关性。在ESM中,其他用户的信道增益分布在可能和谨慎的情况下以共同控制的方式变得相互依赖。第3节围绕这些依赖性发展了直觉,并定义了增加ESM复杂性的3个阶段,其可以帮助指导EMS逐步引入传统网络以及具有更大可调性的未来网络。一些简化的示例说明了ESM的相对于未授权频谱中通常使用的基于竞争的方法的增益。这些阶段将大致使先前提出的以及后来成功用于通过大幅改进来提高固网速度和效率的3个DSM“级别”平行。第4节通过扩展传统的中断概率度量并用马尔可夫模型对其进行机械化(如自适应学习和输出优化的),来通过调制和编码系统(MCS)参数的QoE影响的附加功能选择规范来增强遍历谱指导。描述了一些简化的分布估计和各种估计方法以及ESM对QoE度量的使用。第5节提供了QoE中对应的巨大潜在ESM增益的一些示例,而第6节得出结论。

[0057] 2. 资源维度、加载和统计

[0058] 现代无线通信网络中的维度传统上可以出现在时间和频率中,但也越来越多地出现在空间中,其中使用越来越多的天线来提高系统性能。维度可以被认为是时隙、子载波/音调、或空间维度。例如,在每个维度上使用基本正交调制的无线传输中,一个维度可以被视为一个复数维度或两个实数维度。

[0059] 通常,维度可以被视为系统资源。维度资源可以被均等地划分,例如,而不是具体地与时间、频率或空间相关联。可以假定每符号有限数量的空间/时间/频率维度,并且可以假设连续符号的传输。在一些情况下,这种假设涉及整体ESM符号时钟的存在,该时钟可以被近似并在复杂的最高增益情况下变得更加精确。ESM的资源划分可以从所有维度均等的确定性视图(all-dimensions-are-equal deterministic view)转换为基于维度资源有用的概率的统计视图。这里的几个示例说明了ESM对冲突检测方法的改进,并且在一些情况下,对允许将单用户遍历方法应用于多用户情况的确定性RRM的改进。

[0060] 2.1 多维信道泛型(Generics)

[0061] 这里的术语“加载”是指将能量和信息(编码和调制的子函数)指派给信道的可能可变质量维度,这些维度可能不一定都具有相同的增益和噪声。可变质量可以被视为“时变”、“频率选择性”信道滤波,或不同空间路径上的不同增益,等等。

[0062] 图2图示了根据本公开的实施例的均可以具有多个“维度”的四个单用户信道。维度可能具有不同的增益和噪声。如图2中第二行所示,ESM通常用每符号重复多次的等效常量维度表示信道,这转而可以一般化为某种类型的维度/资源可用的概率。如图2所示,信道

A在维度上使用可变能量以最大化性能；信道B和信道C在所有维度上使用相等的能量，并且均具有不同的总能量。信道D在其维度上使用相等能量和零能量。在实施例中，信道A可以代表：具有许多空间信道的大规模MIMO系统（每个信道具有不同的增益和SNR），或者每用户具有若干个天线的系统。信道A也可以对应于有线系统的频率维度。其他类型的通信链路也可能产生信道A。信道B和C可能是无线编码的OFDM系统，它们在特定信道内的所有子载波上使用恒定能量。信道D可以对应于聚合两个信道以用于传输的无线系统，这些信道可能在频率中不连续定位。信道D也可以代表4个空间流，使用了其中3个空间流。任何维度都可能具有由以下定义的SNR

$$[0063] \quad SNR \triangleq \bar{\mathcal{E}} \cdot g \quad (\text{等式 1})$$

[0064] 其中  $\bar{\mathcal{E}} = \mathcal{E}/N$  是维度上使用的平均发射能量， $\mathcal{E}$  是N个维度上使用的总能量，并且g是“信道增益”，其可以表示归一化为维度噪声能量的信道能量增益/衰减。对于图2， $\mathcal{E} = \mathcal{E}_A + \mathcal{E}_B + \mathcal{E}_C + \mathcal{E}_D$  并且  $N = N_A + N_B + N_C + N_D$ 。加载决定指派给每个维度的传输能量。可能存在导致可变或平坦能量分布的任意数量的加载标准。增益g是给定信道的函数，并且通常不能直接更改（由设计人员），并且在ESM中被视为随机。不过，增益的分母噪声可以包括来自其他用户的干扰，这些干扰可能会间接受到较早的ESM策略建议的影响。已知这种信道的最大比特率b是

$$[0065] \quad \bar{b} = \log_2(1 + SNR) \quad (\text{等式 2})$$

[0066] 其中每维度的数量  $\bar{b}$  是根据在N个维度上传输的比特总数b计算的，计算为  $\bar{b} \triangleq b/N$ 。对于图2， $b = b_A + b_B + b_C + b_D$ 。对于信道维度上的任何能量，这种分布和信道可以用具有相同信息承载能力  $\bar{b}$  的等效几何单信噪比信道来表示。例如，对于信道A（其中， $SNR_{n,A}$  是对于信道A的维度n的SNR），通过下式（其中，隐含了好的容量实现码）给出了等效的SNR

$$[0067] \quad SNR_{geo,A} = \left[ \prod_{n=1}^{N_A} (1 + SNR_{n,A}) \right]^{1/N_A} - 1 \quad (\text{等式 3})$$

[0068] 由于好的加载方法通常不会将能量指派给SNR不显著大于1的信道（或维度），因此等式3通常通过删除1项来近似；然后恰好表现为几何SNR等于  $N_A$  组成维度SNR的乘积的  $N_A^{th}$  根。在实施例中，通过在  $N_A$  个实例中将恒定能量  $\mathcal{E}_A$  指派给等效信道，信道增益（此处为信道A的有效信道增益）可以由它们的几何平均值表示为

$$[0069] \quad g_{geo,A} = \left[ \prod_{n=1}^{N_A} g_{n,A} \right]^{1/N_A} \quad (\text{等式 4})$$

[0070] 并且因此

$$[0071] \quad SNR_{geo,A} = \bar{\mathcal{E}}_A \cdot g_{geo,A} \quad (\text{等式 5})$$

[0072] 如图2所示，现在可以为指派给每个信道（就好像它是一个“更宽”的维度）的恒定能量解决嵌套加载问题，并且整体聚合几何SNR可以将信道集表示为：

$$[0073] \quad SNR_{geo} = (1 + SNR_{geo,A})^{N_A/N} \cdot (1 + SNR_{geo,B})^{N_B/N} \cdot (1 + SNR_{geo,C})^{N_C/N} \cdot (1 + SNR_{geo,D})^{N_D/N} - 1$$

(等 6)

[0074] 如果对于 $X=A, B, C, D$ 有 $SNR_{geo,X} \gg 1$ , 而仅包括加载的信道, 则可以通过删除所有1项来精确近似等式6。因为, 如图2所示,  $SNR_{geo,C}$ 未加载(指派了零能量), 不应忽略信道C的1项, 并且因此该项将轻松退出等式6中的公式。在实施例中, 整体嵌套加载问题将恒定(或零)能量指派给几何等效信道的维度(并且可能地将不同能量指派给不同几何等效信道)。

相对于总N的信道维度  $\left[ \frac{N_A}{N} \quad \frac{N_B}{N} \quad \frac{N_C}{N} \quad \frac{N_D}{N} \right]$  可以被视为离散概率分布。此外,  $\left( \frac{N_X^*}{N} \right)$  其

中 $X=A, B, C, D$ 可以看作是使用某种资源(维度)的平均概率。分布中的值表示维度出现在某个信道中的概率。粗略地说, 该概率对应于某个信道“资源”可供使用的可能性。在这样的精简之后, 概率变得微不足道并且本质上独立于信道增益(以及因此噪声)。

[0075] 在实施例中, 该概念可以被一般化为对应于某个信道资源可用的概率(考虑了衰落、增益、来自其他用户的干扰、噪声等)。当某些信道条件的概率已知或可以估计时, 该概念解释在ESM中可能特别有用。在实施例中, 该概念可以扩展到遍历加载(下面讨论), 并且也可以作为ESM中遍历加载的多用户扩展的基础, 在第3节中更详细地讨论。

[0076] 图2中的ESM信道可以被认为是IEEE 802.11系列Wi-Fi系统(每个通常为20MHz宽, 或20MHz的2的幂的倍数)中或相同频率带宽传输系统中的不同信道。在LTE中, 这些被称为资源块或资源单元, 通常对应于某些持续时间为0.5ms的时隙上的编码OFDM系统的12音调组, 通常包含6或7个连续的OFDM符号。该系统甚至可以将固定线路DSL离散多音调(DMT)或DOCSIS 3.1编码OFDM系统与无线信道结合起来, 其中, 前者本身均被视为信道。实际上, 聚合形成了“信道的信道”。在这种上下文中, 窄带低功耗无线局域网(LPWAN)也可以被视为一个信道。LPWAN可以包括无线系统, 例如蓝牙、LTE-M的窄带IoT(物联网)或LoRa(长距离)。在这种上下文中, 维度是资源的概率加权分区(partition)。分区的每个基本单元可以对应于所有信道资源上的时间、频率和空间的某个单个最小公约数使用。可以理解, 不同的概率可以随着这种基本单元的数量而缩放。

[0077] 2.2注水作为维度管理工具

[0078] 注水涉及将能量分配给一组平行的独立信道(或维度)。每信道的注水分布的能量指派可以表示为

$$[0079] \quad \bar{\mathcal{E}}_n + \frac{\Gamma}{g_n} = K \quad (\text{等式 7})$$

[0080] 其中 $\bar{\mathcal{E}}_n$ 是第n个信道上的能量。在此, 信道指的是“维度”、如图2中的嵌套加载的一组维度、或单个信道的音调/时隙的基本单元维度。“编码间隙”参数 $\Gamma$ 表征应用代码的能力, 其中 $\Gamma = 1$ (0dB)暗示使用了能力实现代码。值得注意的是, 等式3至等式6假设 $\Gamma = 1$ 。K是水位常数, 并且第n信道(或维度)增益定义为

$$[0081] \quad g_n \triangleq \frac{\text{信道能量放大/衰减}}{\text{全部噪声之和}} \quad (\text{等式 8})$$

[0082] 其中“噪声”可以包括干扰,例如来自试图同时使用相同信道的其他用户的干扰。信道放大/衰减是发射信号相对于接收器输入端处的无噪声分量的相应平方增加/减少。注水本质上是说能量和反向增益的总和在所有使用的子信道上都是恒定的。反向增益涉及“与信道输入相关的输出噪声”。使用的术语是斜体,因为注水会使某些信道归零,因为其无法以正能量求解等式7。正常注水会从最大( $n=1$ )到最小( $n=N$ )对 $\{g_n\}$ 进行排序,并选择最大的 $N^*$ ,使得为了最大化数据速率或携带的总比特 $b$ ,等式 $K_{RA} = \frac{\mathcal{E}}{N^*} + \frac{\Gamma}{N^*} \cdot \sum_{n=1}^{N^*} \frac{1}{g_n}$ 在所有非

负能量的情况下被满足,并且 $\mathcal{E} = \sum_{n=1}^N \bar{\mathcal{E}}_n$ 是允许的总能量。可以将注水视为信道增益的有序

集,作为“如果足够好就发送”的发送每维度规则(其中, $\gamma_0 \triangleq \Gamma/K$ )或

$$[0083] \quad \begin{cases} g_n > \gamma_0 & \text{以能量 } \varepsilon_n = K - \frac{1}{g_n} \text{ 发送} \\ g_n \leq \gamma_0 & \text{不发送, 因此 } \varepsilon_n = 0 \end{cases} \quad (\text{等式 9})$$

[0084] 速率自适应(即,标准是在给定固定总能量的情况下最大化数据速率)水位常数 $K_{RA}$

也可以被视为使用维度平均能量 $\langle \mathcal{E}^* \rangle \triangleq \mathcal{E}/N^* = \left( \frac{N}{N^*} \right) \cdot \bar{\mathcal{E}}$ 的总和( $\bar{\mathcal{E}}$ 是每维度的能量,因此在

$N^* < N$ 的情况下,注水加载过程增加了更好使用维度的平均能量)和间隙缩放的平均逆增益

$$\left\langle \frac{1}{g^*} \right\rangle \triangleq \frac{1}{N^*} \cdot \sum_{n=1}^{N^*} \frac{1}{g_n}, \text{ 所以}$$

$$[0085] \quad K_{RA} = \left\langle \mathcal{E}^* + \Gamma \cdot \frac{1}{g^*} \right\rangle \quad (\text{等式 10})$$

[0086] 在此可被视为“遍历平均”的维度平均使用尖括号来指示在时间、空间或频率上进行平均并且不对应于信道输入或噪声分布上的平均。一个有用的注水解释是,任何使用维度上的发射能量超过(或低于)平均发射能量的量等于信道增益低于(超过)平均信道增益的量或(以单位间隙或完美代码):

$$[0087] \quad \varepsilon_n - \langle \mathcal{E} \rangle = \left\langle \frac{1}{g} \right\rangle - \frac{1}{g_n} \quad (\text{等式 11})$$

[0088] 当信道增益 $\{g_n\}$ 被视为随机(其中,每个索引(维度)中的每个值都具有概率

$$\Pr\{g_n\} = \begin{cases} \frac{1}{N^*} & n=1, \dots, N^* \\ 0 & n=N^*+1, \dots, N \end{cases} \text{ ) 时, 则 } \langle \varepsilon^* \rangle \text{ 和 } \left\langle \frac{1}{g^*} \right\rangle \text{ 将对应于该索引/维度分布上的平均值。}$$

类似地,为了最小化所有信道上给定数据速率或总比特的能量,双裕度自适应(MA)注水改

为选择最大 $N^*$ ,使得在所有非负能量的情况下满足 $K_{MA} = \Gamma \cdot \frac{2^{b/N^*}}{\sqrt[N^*]{\prod_{n=1}^{N^*} g_n}}$ 。通过定义

$\langle b^* \rangle = \left( \frac{N}{N^*} \right) \cdot \bar{b}$  和  $g_{geo} = N^* \sqrt{\prod_{n=1}^{N^*} g_n}$ , 这个MA水位常数也可以写成

$$[0089] \quad K_{MA} = \Gamma \cdot \frac{2^{\langle b^* \rangle}}{g_{geo}} \quad (\text{等式 12})$$

[0090] 这些注水公式假定(单用户)RRM即时且准确地知道发射器和接收器二者处的信道增益,并且统计解释目前看来只是多余的。

### [0091] 2.3遍历注水

[0092] 在实施例中,ESM通过瞬时测量的信道增益(或多个增益)的基于统计的函数来指导加载决策。LRM可以在一组离散的增益值(范围)  $\mathcal{G} = \{g\}$  上计算信道增益上的概率分布,计算为  $p_g$ 。瞬时几何平均信道增益值  $g_{geo,x}$  (其中,  $x \in \{A, B, C, D\}$ ) 也可以是本地无线电节点的发射器处已知的全部信息,例如,经由对所使用的每个信道或最近历史的初始训练过程。瞬时传输分组  $g_{geo,x}$  的值通常通过训练协议(作为“信道状态信息”CSI)反馈给发射器,通常称为信道探测,例如使用Wi-Fi所称的NDP(空数据分组)。LTE在信道上连续运行,而信道增益是从嵌入的训练导频内插的,这些训练导频基本上贯穿所使用的信道。为特定值  $g$  传输的能量为  $\epsilon_g$ 。典型的遍历注水解决方案针对离散分布一般化,以最大化平均数据速率

$$[0093] \quad \langle b \rangle = \sum_{g \in \mathcal{G}} p_g \cdot \log_2(1 + \epsilon_g \cdot g) \quad (\text{等式 13})$$

[0094] 受制于如下平均能量约束

$$[0095] \quad \mathcal{E} = \sum_{g \in \mathcal{G}} p_g \cdot \epsilon_g \quad (\text{等式 14})$$

[0096] 其中,  $p_g$  是增益  $g$  的概率。等式13的最大化导致遍历注水常数

$$[0097] \quad K_{RA} = \frac{\mathcal{E}}{\sum_{g \in \mathcal{G}^*} p_g} + \frac{\Gamma}{\sum_{g \in \mathcal{G}^*} p_g} \cdot \left( \sum_{g \in \mathcal{G}^*} \frac{p_g}{g} \right) \quad (\text{等式 15})$$

[0098] 其中  $\mathcal{G}^*$  是等式10中所有能量是非负的离散分布的最大组的(再次从最大到最小排序)增益范围值。遍历水位一般化了RRM在所使用的信道上的均匀分布,并用具有足够大增益的所使用的信道上的更一般的分布  $p_g^*$  代替它,但否则保留等式10。遍历注水用信道增益值  $g$  代替确定性资源索引  $n$ 。然而,ESM还需要在发射器处本地知道瞬时信道增益,并且也遵循等式9或也遵循等式11。本质上,遍历注水与普通注水在注水常数  $K$  的计算上有所不同。

#### [0099] 2.3.1遍历信道的中断概率和加载

[0100] 当频谱/信道的能量被确定时,传统RRM无线电节点在本地决定两个代码参数,它们是星座大小  $|C|$  (名义上选自BSPK、4QAM、16QAM、64QAM、……、4096QAM) 和码率  $r$  (通常,码率是简单的分数,如通过对速率  $1/2$  卷积码进行穿孔而产生的  $1/2, 2/3, \dots, i/i+1$ , 以减少冗余(更一般地,在使用更一般的LDPC、Polar或其他代码时  $0 < r \leq 1$  之间的数字)。在合理的代码决策(固定间隙)的情况下,注水频谱决策与代码选择无关。当代码达到容量时,则数据

速率简单地由众所周知的 $\log_2(1+\text{SNR})$ 公式确定;但对于实际代码,可以估计在频带上具有恒定SNR的每个信道的代码速率和星座大小。 $[r|C|]$ 的可能的本地无线电节点服务质量(QoS)目标实际上等效于以下问题陈述:

$$[0101] \quad \max_{r, |C|, \gamma_0} \bar{b} \triangleq r \cdot \log_2 |C|$$

$$[0102] \quad \text{受制条件: } \langle \bar{P}_e \rangle < \delta \quad \text{且} \quad P_{out} \leq 1-r \quad (\text{等式 16})$$

[0103] 其中,例如在具有加性高斯白噪声的信道上,符号错误的平均概率为(受指定的最大容许水平 $\delta$ 限制)

$$[0104] \quad \langle \bar{P}_e \rangle \triangleq \sum_{g > \gamma_0} p_g \cdot \bar{N}_e \cdot Q \left[ \sqrt{\frac{3 \cdot \bar{\mathcal{E}} \cdot g \cdot d_{free}(r)}{|C|-1}} \right] \quad (\text{等式 17})$$

[0105] 并且中断的概率是

$$[0106] \quad P_{out} \triangleq \sum_{g \leq \gamma_0} p_g \quad (\text{等式 18})$$

[0107] 代码距离曲线(profile)对(versus)速率 $d_{free}(r)$ 对于无线电节点中允许的代码是已知的。选择和上的参数 $\gamma_0$ 以满足等式17和等式18二者。等式17还承认整体数据速率排序 $b=r \cdot \log_2(|C|)$ ,其可以被检查以通过在等式16中连续测试该排序的整体优化数据速率直到满足等式17和等式18中的性能目标,来解决QoS优化问题。

### [0108] 2.3.2 嵌套遍历注水

[0109] 具有遍历注水的嵌套加载假定几何平均信道增益对于每个信道及其对应的分组和/或“时隙”在本地(在无线电节点处)是可用的。因此,最低级别的加载在无线电节点中本地执行。遍历决策然后简单地变成在特定时间“使用或不使用”某个信道,连同基于瞬时测量的信道增益的要使用的能量水平。对于单个用户,这相对简单。第3节将发展到多个用户,其中,将需要默认(第1阶段ESM,参见第3节)或显式(第2阶段ESM,第3节)的联合概率分布来创建有用的多用户形式的遍历注水。再次,存在一定级别的局部确定性瀑布,其是整体平均的基础。

[0110] 在ESM中,本地发射器将只知道其自己信道的增益 $X \in \{A \ B \ C \ D\}$ ,并且LRM将知道这些值的分布,而不是瞬时值。LRM将向本地发射器提供能源使用和代码使用的指导或策略,作为本地测量的增益值 $\epsilon_g$ 的函数,其在目前看到的简单情况下,本质上相当于注水常数。

[0111] 通过定义只跨越所使用的资源的概率 $P_{geo}^* = \left( \sum_{g \in \mathcal{G}^*} p_g \right)$ ,如通过信道增益(或逆增益)索引,等式15可以重写为

$$[0112] \quad K_{RA} = \left( \frac{1}{P_{geo}^*} \right) \cdot \mathcal{E} + \Gamma \cdot \left( \frac{1}{g^*} \right) \quad (\text{等式 19})$$

[0113] 其中,使用的集合 $\{g \in \mathcal{G}^*\}$ 上的分布定义为

$$[0114] \quad p_g^* \triangleq \frac{p_g}{\sum_{g \in \mathcal{G}^*} p_g} \quad \forall g \in \mathcal{G}^* \quad (\text{等式 20})$$

[0115] 等式19中的遍历注水因子 $\left(\frac{1}{P_{geo}^*}\right)$ 类似于(非遍历)注水中的因子 $\left(\frac{N}{N^*}\right)$ ,并且再次对应于获得可用能量的更好资源。能量再次被确定为(现在由g索引)

$$[0116] \quad \mathcal{E}_g = K_{RA} - \frac{\Gamma}{g} \quad \forall g \in \mathcal{G}^* \quad (\text{等式 21})$$

[0117] 在实践中,能量的可用范围通常接近于(非遍历的)注水中的开/关。LRM无法知道当前的瞬时 $g_{geo}$ 值。对于单个用户,要使用的能量和编码参数的决策可以由LRM通过ESM的功能规范或用于每个本地测量的几何信道增益的频谱/代码集来指导。因此,虽然每个维度的瞬时值g的反馈是不切实际的,但LRM知道并指定可能值的集合 $\{g_{geo}\}$ 。例如,对于图2的信道 $X=A,B,C$ 和 $D$ ,在一天中的某个时间在某个位置(或用户)。这些是本地测量的 $g_{geo,X}$ ,它们是LRM提供的函数的输入。如果平均比特率在等式13中是固定的,对于最小平均能量存在对应的

的双遍历注水解决方案(其中 $\langle b^* \rangle \triangleq \frac{\langle b \rangle}{P_{geo}^*}$ )

$$[0118] \quad K_{MA} = \Gamma \cdot \left( \frac{2^{\langle b \rangle}}{\prod_{g \in \mathcal{G}^*} g^{p_g}} \right)^{\frac{1}{\sum_{g \in \mathcal{G}^*} p_g}} = \Gamma \cdot \left( \frac{2^{\langle b^* \rangle}}{g_{geo}} \right) \quad (\text{等式 22})$$

[0119] ESM将资源使用的概念从所用维度的分数一般化为概率分布,并且当在多个信道上嵌套加载 $N_X/N \rightarrow p_{geo,X}$ 时,ESM将等式6中的整体SNR转换成

$$[0120] \quad SNR_{geo} = \left(1 + SNR_{geo,A}\right)^{p_{geo,A}} \cdot \left(1 + SNR_{geo,B}\right)^{p_{geo,B}} \cdot \left(1 + SNR_{geo,C}\right)^{p_{geo,C}} \cdot \left(1 + SNR_{geo,D}\right)^{p_{geo,D}} - 1 \quad (\text{等式 23})$$

[0121] 虽然这些一般化对于单个用户来说至今可能还显得多余,但它们对于理解第3节的ESM多用户情况中的它们的替代方案变得更有帮助。

#### [0122] 2.4 概率分布估计

[0123] 本节讨论单用户(2.4.1小节)和多用户(2.4.2小节)信道概率分布估计的方法。单用户分布可以用于单用户遍历注水。多用户分布可以结合以下第3节中讨论的实施例使用。

##### [0124] 2.4.1 单用户概率分布的估计

[0125] 在实施例中,在单用户遍历注水中使用单用户信道的概率分布估计。信道增益 $g_{geo,X}$ 可以在0(即,信道不可用)至某个数字之间连续分布。根据用于给定代码的 $[r|C]$ 的允许值,通过查看假定的标称发射功率谱密度 $\bar{\mathcal{E}}$ 下所需的最小增益水平,以及按照下式的目标随机错误概率水平(例如, $p=10^{-7}$ )增益值的范围,可以针对ESM离散化(例如,通过使用公

式17)

$$[0126] \quad \frac{[Q^{-1}(p)]^2 \cdot (|C|-1)}{3 \cdot \bar{\epsilon} \cdot d_{free}(r)} = g \quad (\text{等式 24})$$

[0127] 根据用于给定代码的  $[r|C|]$  的允许值,其中自由距离  $d_{free}(r)$  被给出作为一些已知应用代码的速率的函数。在实施例中,  $Q$  函数的倒数可以从列表值中获得。在实施例中,等式24的解可以提供连续增益区域的端点。端点可以用区域下边界的最低增益值来表征或表示。在实施例中,这些范围中的每一个都可以对应于某些干扰情况(例如,其他活动用户的不同集合,如第3节中的EIW示例)或对应于可以随用户、环境条件或两者而变化的信道衰减。对于ESM,这些增益范围中的每一个都可以对应于报告给LRM的不同信道  $X$  的  $g_{geo,X}$  的当前测量值。在实施例中,增益可以创建范围段

$$[0128] \quad \mathcal{G}_{i,X} = \{g | g_{i,X} \leq g < g_{i+1,X}\} \quad (\text{等式 25})$$

[0129] 其中,  $g_{0,X} = 0$ 。某个信道  $X$  的所有  $\{g_{geo,X}(k)\}$  的测量集 ( $k$  是观察间隔索引) 可以具有大小  $|\mathcal{G}_{i,X}|$ , 其可以表示该信道的测量值的总数。每个集合可以具有等于落入范围段  $\mathcal{G}_{i,X}$  中的测量值的数量的大小  $|\mathcal{G}_{i,X}|$ 。给定每个信道的多个测量值,可以从该信道的一组测量增益  $g_{i,X}$  计算增益分布,计算为

$$[0130] \quad \hat{p}_{g,X} = \frac{|\mathcal{G}_{i,X}|}{|\mathcal{G}_X|} \quad \forall g \in \mathcal{G}_{i,X} \quad (\text{等式 26})$$

[0131] 为了确保分布估计误差保持相对较小,在实施例中,可以选择观察间隔的总数至少比离散分布  $p_g$  中的范围的数量大十倍。如果这样的分布是针对一天中的不同时间计算的,则这个规则应该对于个别地对应于它们相应的一天中时间的所有这样的计算的分布保持为真。在实施例中,一个好的估计准确度度量是分布不再随着附加的测量值而改变太多,即,分布看起来是“遍历的”。在若干间隔的初始收敛之后发生的显著变化可能意味着,例如,无线环境已经改变,例如,通过引入新的无线电节点,或者引入已经改变了无线电节点或者对向的设备/用户的移动或环境的新设备。如果此类移动大致一致(例如,在一天中的特定时间期间更频繁地沿走廊移动,或者使用ESM信道频谱的车辆(vehicle)移动相当一致),则此类移动不会阻止平均遍历外观。在实施例中,估计过程可以对若干个间隔上的分布进行平均,例如,通过使用间隔的滑动块,该间隔的滑动块针对滑动块内的每个间隔发现的分布进行平均。在实施例中,指数衰落窗口可以根据下式更新分布

$$[0132] \quad p_{g,new} = (1-\lambda) \cdot p_{g,old} + \lambda \cdot p_{g,current} \quad (\text{等式 27})$$

[0133] 以指数方式并逐渐减少较旧数据的影响,而更高的权重值  $\lambda$  ( $0 \leq \lambda < 1$  但通常接近于1) 可以应用于较新数据。在实施例中,响应于LRM感测到突然变化或被视为不可信的一致性,ESM指导可以停止提供功能指导,例如,直到一致性/遍历性已经被恢复。在许多情况下,分布可能在某些时间/地点保持一致(例如,对于大多数用户/设备不经常改变位置的室内网络),和/或相同的使用位置在一天中的某些时间通常也常见。一致的移动平均而言可能会劣化信道增益,但在这种劣化的情况下,平均值可能仍然是一致且可靠的。

## [0134] 2.4.2多用户信道增益矢量的估计

[0135] 在实施例中,分布估计可以扩展到跨所有用户的随机增益矢量 $g$ 的分布。当与相对简单的范围分段计数方法一起使用时,这种具有相当大数量用户的联合分布估计(甚至只有几秒到10秒)可能会变得很麻烦,因为测量值的数量随着使用应用于联合分布 $P_{g_1, \dots, g_U}$ 的直接计数方法而随着 $U$ 呈指数增长。在实施例中,概率的链式法则

$$[0136] \quad P_{g_1, \dots, g_U} = P_{g_U / \{g_1, \dots, g_{U-1}\}} \cdot P_{g_{U-1} / \{g_1, \dots, g_{U-2}\}} \cdot P_{g_2 / g_1} \cdot P_{g_1} \quad (\text{等式 } 28)$$

[0137] 用于通过识别用户的任何订单 (order) 生产相同的产品来降低复杂性。实际上,给定任何一组其他用户的情况下,一个用户的可能条件概率是可能的(根据哪些用户在任何观察间隔同时处于活动状态)。在等式28中,这种解释在每个测量间隔上提供了用于更新整个产品的机会(假设用于其他用户的先验条件概率的某个值,并且类似地,用于不同的其他用户的后条件概率的某个值)。在实施例中,计算的联合分布可以与计算的最后联合分布(滑动块或指数加窗)进行平均。整个产品可以通过假设所有用户都是独立的或实际上没有联合数据的任何用户都是独立的并简化等式28来初始化。概率分布可以通过下式初始化

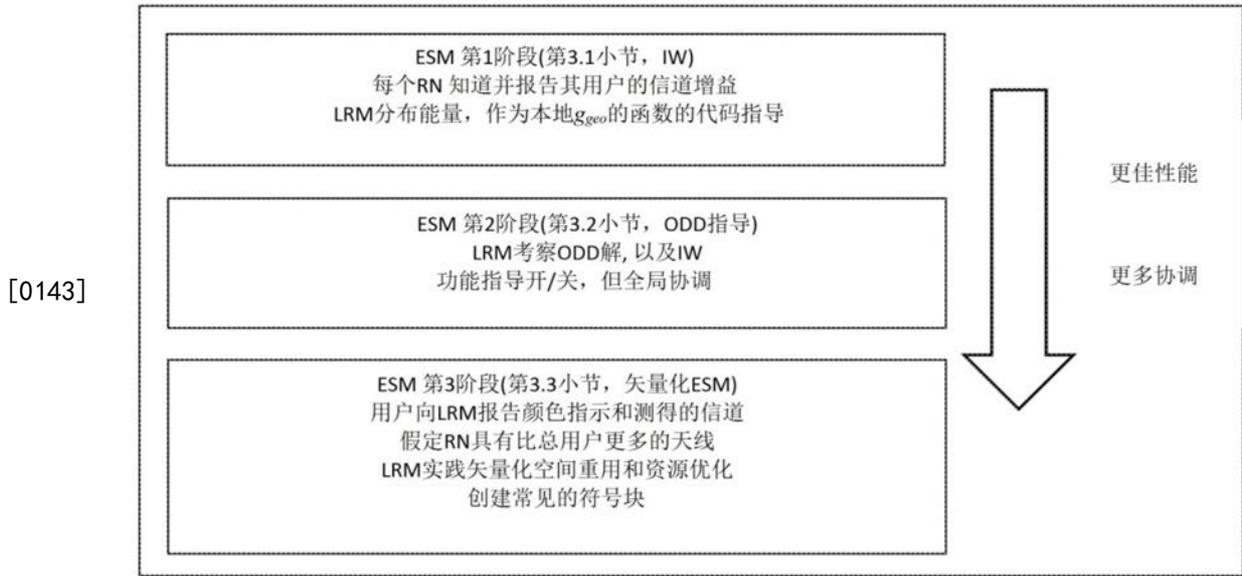
$$[0138] \quad p_{g_1, \dots, g_U}(\text{initial}) = \prod_{u=1}^U p_{g_u} \quad (\text{等式 } 29)$$

[0139] 其中只有那些已经活跃了足够数量的时间间隔的用户才被包括在产品中。在报告 $P_{g_u}$ 的任何时间点,LRM可以检查当时所有其他报告的活跃用户以形成集合 $\mathcal{U}_{act}$ ,并且然后这个报告的分布就是等式28中的项 $P_{g_u} \rightarrow P_{g_u / \mathcal{U}_{act}}$ 。

[0140] 某些实施例考虑不同用户的分布值之间的相关性。例如,用户1的某个信道增益值可能经常(或几乎总是)与用户2的另一个值相关联。在如图28所示的产品,仅当其他用户的特定信道增益值出现时,各种项可能具有非零(或有效)值,并且否则对于所有其他组合为零或接近零。换句话说,用户之间的干扰可能发生在某些配对或元组中(其中, $U > 2$ )。一个用户上的信道增益值可以暗示哪些其他用户在被观察时是活跃的还是沉默的。该集合 $\mathcal{U}_{act}$ 可以是最多 $U!$ 个可能的集合之一。每个用户 $u$ 可以有其增益 $g_u$ 和其他用户的 $\mathcal{U}_{act} \setminus u$ 信道增益值的概率分布 $P_{g_u / \mathcal{U}_{act}}$ 函数。除了少量信道增益矢量设置外,此函数对于所有设置都为零。在实施例中,那些非零设置对应于相互干扰的(遍历)模式。如将在第3节中变得明显的,只有LRM可能需要知道这些配对,这些配对也可以是每个非零概率集的可用信道 $X = A, B, C, D, \dots$ 的函数。对于特定用户 $u$ 的 $g_{u,X}$ 值, $g_{i \neq u, X}$ 的对应值将因此是已知的。

## [0141] 3.ESM阶段

[0142] 表1示出了根据本公开的实施例通过越来越复杂的阶段的ESM进展。



[0144] 表1-通过越来越复杂的阶段的ESM进展

[0145] 表1中总结了增加基于云的资源管理的三个ESM阶段。第3.1节中讨论的遍历迭代注水(EIW)是阶段1管理的一种形式,其中,云管理器可以接收历史信道增益值并将这些个人用户的值与其他用户的值进行时间相关。如第5节中所讨论的,增益数据可以历史地收集,并带有每个无线电节点(RN)用户和对向连接的时间戳。虽然可能推断跨多个无线电节点连接的联合信道增益分布,但第1阶段ESM LRM可能会找到非零概率值 $P_{g_u/u_{act}}$ 并使用对应的集合来实现第3.1小节的迭代注水过程,以为每个g值生成一个推荐频谱 $\epsilon_{u,X}(g)$ ,该频谱由LRM传送给用户u的RN。否则,本地RN可能主要独立于LRM进行操作。可以计算个体的信道增益概率分布以估计达到的数据速率的概率和可能出现的不同用户集可能尝试的能量水平,以及平均值和百分比性能水平。

[0146] 第3.2小节的第2阶段ESM基于具有子无线电节点的RN的联合分布更积极地应用频谱约束。第2阶段ESM使用更复杂的最佳频谱平衡方法。第2阶段还可以更好地扩展到网状情况,其中,在给定的无线电节点覆盖范围内有子无线网络,如图1的中间无线电节点覆盖范围所示。完整形式的第2阶段将导致对无线电节点的更复杂的多用户功能指导。然而,在第2阶段解选择互斥的信道使用模式的上下文中,第3.2小节中的实施例将指导简化为与第1阶段相同或相似的级别。在实施例中,第3阶段代表了无线电节点的频谱使用的邻域再次基于遍历性而不是基于瞬时条件而被另外良好地同步和协调的更高级别的能力。在实施例中,阶段3矢量化ESM可以指导和改进跨一组RN的RRM,否则这些RN在它们自己的限制内个别地优化。第3阶段系统可能具有无线电节点和设备,这些节点和设备具有许多天线,并且可以准确地跟随(锁相到)公共符号时钟——它们的频谱、空间和时间使用可能比第1阶段或第2阶段得到更好地协调。

[0147] 图3图示了根据本公开的实施例的在任何阶段的ESM生态系统中的管理信息流。系统300可以具有物理上分离的无线电接入节点304、306,它们通过基于云的LRM 102间接协调(用于ESM目的)。由无线电节点304、306提供给LRM 102的信息可以包括任何数量的到设备(或子无线电节点)的对向连接的信道增益、任何测得的干扰传输增益/相位(在第3阶段ESM中)以及QoS参数,如使用时间、中断、分组错误、先前实现的数据速率和对应条件。在实

施例中,由无线电节点提供给LRM的信息可以包括用于评估QoE的信息,例如用户满意度、技术人员访问和相关信息。在实施例中,用于评估QoE的信息可以从不同于无线电节点的来源发送到LRM,例如,来自服务提供商系统的呼叫中心日志。在实施例中,LRM 102例如以表格格式向无线电节点304、306提供包括功能或策略320的ESM控制信息310、312,被认为是由未来本地无线电节点信道增益的无线电节点304、306使用的指导。在实施例中,响应于获得函数,无线电接入节点304、306将测量的近期参数(例如,几何平均信道增益)应用于函数/策略以获得改进测量参数的性能的一个或多个参数。本节中的实施例说明当存在某些遍历一致性时,此类指导可导致性能改进。可以理解,无线电节点304、306,例如,在确定了如果遵循指导会发生故障时,可以否决任何给定的指导320并向LRM 102生成适当的报告。

#### [0148] 3.1第1阶段——遍历迭代注水(EIW)

[0149] 图4是根据本公开的实施例的用于迭代注水(IW)的说明性过程的流程图。IW涉及若干个用户,每个用户同时在共享信道中单用户地实践注水。它是一种用于减少用户之间相互干扰的确定性方法。如图4所示,用户索引为 $u=1, \dots, U$ ,其中 $U$ 为用户数量。IW可能间接地是所有用户增益 $\{g_u\}_{u=1, \dots, U}$ 的函数,这些增益通过“噪声”将它们自己影响到IW的能量加载中,噪声包括同一频带内其他用户的干扰(假设其他用户的干扰无法消除)。实际上,这些增益由无线电节点的设备测量,并通过低带宽云/互联网反馈报告给LRM。LRM可以确定哪些集合相互对应于非零概率,并且对于此类集合中的每个用户,确定特定信道增益值的对应注水频谱。由于向LRM报告信道增益值的延时,只有特定的用户设备和无线电节点将知道当前的增益值。然而,LRM可以根据报告的值计算分布(例如,通过使用第2.4节中讨论的一些方法)并找到相互活跃的集合。信道增益可以在被报告给LRM之前在无线电节点中本地计算。迭代注水不能保证总是收敛,尽管有很多情况可以在数学上证明收敛,并且还有很多其他情况,一旦应用某些条件就会收敛。收敛点不需要在所有情况下都是最佳的,但它通常是对所有用户尝试使用所有频带或所有用户试图完全避免彼此(使用冲突检测或用户到信道的其他固定指派)的改进,如下例所示。

[0150] 已经提出了对IW的各种改进,但是这些方法越来越需要了解准确的用户间干扰滤波传递函数(或其等价物),而IW隐式地测量这些用户作为分母 $g$ 中噪声的一部分(或干扰对测量概率分布的影响)。迭代注水本质上可以以近乎分布式的方式实现,其中每个用户的传输简单地针对其他用户感知到的干扰进行注水。然而,通常每个用户的数据速率(如不同用户数据速率矢量 $b=[b_1 \dots b_U]$ 的组成部分中)是固定的,并且然后所有用户实现能量最小化(MA)注水,这往往会阻止任何用户的数据被归零以支持其余部分。这种数据速率固定和在该数据速率下施加能量最小化标准是“中央控制”的一种形式,因此即使在IW中,也可能存在某种程度的中央控制,并且然后IW不是完全分布式的。在实施例中,在EIW中,基于信道增益的常见同时发生,用户的注水计算可以在LRM中执行或模拟,所述信道增益也可以在LRM中根据过去 $g_{u,x}$ 的报告的(和延迟的)值计算。在实施例中,然后将功能指导返回给无线电节点及其对向设备。

[0151] 图5图示了根据本公开的实施例的迭代注水的功能。针对五个示例性信道A、B、C、D和E出现注水资源激励(energization)。用户1最初注水,其中,用户2不存在。这会造成针对用户2示出的干扰,然后用户2会尝试注水。进展(在图4的流程图中向下),用户2现在在信道B、C和E上注水,这对用户1造成干扰。这表现为较低的 $g$ 值,尤其是对于信道C,并且因此信道

C的概率分布中的低g值的概率较高。用户1然后继续第二次注水,知道信道C很可能不好,因此去往那里的能量较少。对应地,这意味着信道C上到用户2的干扰更少,然后用户2看到更高的g值并将更多能量加载到信道C中。

[0152] 只要为两个用户选择的两个数据速率是可行的(每个用户具有相对于另一个的注水解),能量最小化的双注水形式就特别有效。这等同于两个用户的游戏,其中每个用户都不能通过进行附加的更改来执行地更好,有时称为纳什均衡。图6中的IW示例图示了根据本公开的实施例在IW的情况下LRM对两个无线电节点用户的潜在使用和指导。

[0153] 3.1.1示例——两用户IW对争用协议

[0154] 该示例具有两个用户,两个用户中的每个用户都可以使用具有不同增益的两个信道。用户1具有对应于“远”或较长长度信道的衰减,而用户2是“近”或较短长度信道。频带A和B在两个信道上都具有相同的增益(因此它们在载波频率方面可能很接近)。但是,信道之间的干扰有些不同。参数a最初设置为0.1,并且后来修改为0.9以说明一些影响。噪声是零均值白噪声,两个用户之间不相关,并且方差为0.1。允许每个用户指派2个单位的能量给信道A和B。表2说明了a=0.1情况下的迭代注水过程。

[0155]

<b>表 2 –简单 IW 示例</b>
----------------------

[0156]

	频带 A	频带 B
用户 1	$\mathcal{E}_{1A} = 1$	$\mathcal{E}_{1B} = 1$
用户 2	$\frac{1}{g_{2A}} = .1 + (.9)^2 = .91$	$\frac{1}{g_{2B}} = .1 + (.1)^2 = .11$
	$\mathcal{E}_{2A} + .91 = \mathcal{E}_{2B} + .11$ $\mathcal{E}_{2A} + \mathcal{E}_{2B} = 2$ $\mathcal{E}_{2A} = .6 \quad \mathcal{E}_{2B} = 1.4$	
用户 1	$\frac{1}{g_{1A}} = \frac{.1 + .6 \cdot (.9)^2}{(.5)^2} = 2.344$	$\frac{1}{g_{1B}} = \frac{.1 + 1.4 \cdot (.9)^2}{(.5)^2} = 4.936$
	$\mathcal{E}_{1A} + 2.344 = \mathcal{E}_{1B} + 4.936$ $\mathcal{E}_{1A} + \mathcal{E}_{1B} = 2$ $\mathcal{E}_{1A} = 2 \quad \mathcal{E}_{2B} = 0$	
用户 2	$\frac{1}{g_{2A}} = .1 + 2 \cdot (.9)^2 = 1.72$	$\frac{1}{g_{2B}} = .1 + 0 \cdot (.1)^2 = .1$
	$\mathcal{E}_{2A} + 1.72 = \mathcal{E}_{2B} + .1$ $\mathcal{E}_{2A} + \mathcal{E}_{2B} = 2$ $\mathcal{E}_{2A} = .19 \quad \mathcal{E}_{2B} = 1.81$	
用户 1	保留 $\mathcal{E}_{1A} = 2 \quad \mathcal{E}_{2B} = 0 \rightarrow$ IW 已收敛	
数据速率	$\log_2(1 + 2 / 2.344) = .89$	0
用户 1		
总用户 1	.89 比特	
数据速率	$\log_2(1 + .19 / 1.72) = .15$	$\log_2(1 + 1.81 / .1) = 4.26$
用户 2		
总用户 2	4.4	
速率总和	5.3 比特	

[0157] 表2中反映的数据速率对于两个用户都是连续流动的 (流式传输) ——没有争用。此IW示例说明用户1将信道B归零,这是一种类似准频分复用的解决方案。但是,用户2使用两个信道,因为它是“近”信道,而远信道(用户1)在其较差地执行的频带(频带B)上让位于近信道。对于a=0.9的对称信道,第二步将导致完全频分复用(FDM)信道,其中,用户1使用

频带A,并且用户2使用信道B。第1阶段ESM方法通常可能而是利用信道间的足够的对称性(当较大的反向增益明显时),并且然后对应地移动到一个商定的信道拆分,其中,每个用户占用一个信道。这可能不是最佳的,甚至不是好的IW,但它可能提供可接受的解决方案,例如,当两个用户都非常活跃时。

[0158] 作为 $a=0.1$ 情况的替代方案,连续运行以进行公平比较的该信道上的争用协议可能最初尝试一半时间传输用户1和另一半时间传输用户2。这样就没有干扰了。对应的争用避免协议的数据速率为

$$\begin{aligned} [0159] \quad b_{CA,1} &= .5 \cdot 2 \cdot \left[ \log_2(1 + 10 \cdot .5^2) \right] = 1.81 \\ b_{CA,2} &= .5 \cdot 2 \cdot \log_2(1 + 10 \cdot 1) = 3.46 \end{aligned} \quad (\text{等式 30})$$

[0160] 并且因此总和为 $5.25 < 5.3$ (因为注水考虑了此解决方案)。然而,对于这种总是开启的传输,如果数据是从两个用户随机接收的,则已经忽略了可能发生争用时重传的影响。实际上,如果两个用户都希望访问一半的时间,则争用协议将失败并且数据速率归零。但是,IW解决方案清楚地处理了这种情况。因此,如果IW可行,那么当信道使用量很大时,它jiang会比冲突检测好得多。

[0161] 替代的比较可以假设用户1和用户2仅在10%的时间同时传输数据。在这种情况下,冲突检测(CD)在以下数据速率的情况下正确地起作用

$$\begin{aligned} [0162] \quad b_{CD,1} &= 0.9 \cdot \log_2(1 + 10 \cdot .5^2) = 1.6 \\ b_{CD,2} &= 0.9 \cdot \log_2(1 + 10 \cdot 1) = 3.1 \end{aligned} \quad (\text{等式 31})$$

[0163] 现在考虑与重传相关的效率,速率总和是

$$[0164] \quad b_{CD,tot} = 1.6 + 3.1 = 4.7 \quad (\text{等式 32})$$

[0165] 在这种情况下,5.3比特下的遍历IW将应用10%的时间,而剩余的90%时间将传输5.2比特的标称CD(或其他)总和。如果干扰不为零,则对用户1和2的LRM指导将是传输表2A中的注水解,否则在两个频带中使用相等的能量,因为没有干扰。平均值仍然大约为5.3比特(即巧合的是,在此示例中,干扰和无干扰的平均数据速率几乎相等,通常这不需要为真),并且在冲突检测上IW(DSM)的增益为13%。随着使用的增加,冲突的可能性增加,并且在IW使用两个信道的全部吞吐量之时,IW优势将增加到无限。再次地,IW虽然更好,但不是最佳的,可能有更好的解决方案。然而,IW执行得比冲突检测好,如在这个示例中明显的。

[0166] 对于第1阶段ESM注水,LRM只需要知道不同用户的某些信道增益集合的联合出现。这在假设迭代注水过程可以在LRM中模拟时是默认的,因此LRM过程知道来自LRM中其他用户的信道增益。这意味着LRM之前观察到的情况是,每个其他用户对当前用户的个体干扰都被视为已知发射功率级别,并且没有其他用户存在。这从估计的多用户分布中将是明显的,例如第2.4.2小节中所述。

[0167] 3.2第2阶段-最佳频谱平衡

[0168] 对于确定性信道,最佳多用户频谱选择被众所周知(没有任何允许的干扰消除)为最佳频谱平衡(OSB)。通过最大化受制于每个用户上的能量约束的凸加权数据速率总和来找到所有用户数据速率的容许范围:

$$[0169] \quad \max_{\{\boldsymbol{\varepsilon}_{X,u}\}} \sum_{u=1}^U \phi_u \cdot \underbrace{\left[ \sum_X \log_2(1 + \boldsymbol{\varepsilon}_{X,u} \cdot \mathbf{g}_{X,u}) \right]}_{b_u} \quad (\text{等式 33})$$

$$\text{ST: } 0 \leq \left[ \sum_X \boldsymbol{\varepsilon}_{X,u} \right] \leq \boldsymbol{\varepsilon}_X \cap 0 \leq \theta_u \quad \forall u=1, \dots, U$$

[0170] OSB因此超出了IW可以实现的数据速率组合的边界。IW最多可以匹配OSB。余量自适应IW可以为所有用户 $\mathbf{b} = [b_1 \dots b_U]$ 选择一个速率矢量,并尝试通过最小化每个用户的能量来实现这个速率元组。然而,对于每个用户的给定量的最大能量,这样的点也可能不是最佳操作点。OSB的数据速率加权矢量 $\underline{\phi} = [\phi_1 \dots \phi_U]$ 可以调节不同用户的影响。(第1阶段IW本质上任意指派这些权重。)速率元组的可实现外界对应于跟踪所有可能的非负权重 $\underline{\phi} \geq 0$ 的区域。

[0171] 定义 $L_{X,u} = \omega_u \cdot \varepsilon_{X,u} - \phi_u \cdot b_u$ 和 $\mathcal{L}_u = \sum_X \mathcal{L}_{X,u}$ , OSB的解形成拉格朗日

$$[0172] \quad \mathcal{L} = \sum_{u=1}^U [L_u - \omega_u \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_u] \quad (\text{等式 34})$$

[0173] 能量约束拉格朗日矢量 $\underline{\omega} = [\omega_1 \dots \omega_U]$ 也可以在上述MA对偶问题中查看,该问题固定速率矢量 $\mathbf{b}$ 并使用这些非负权重来最小化能量的加权和。OSB算法将能量范围与一些

$\Delta \varepsilon$ 离散到 $M = \max_u \frac{\boldsymbol{\varepsilon}_u}{\Delta \boldsymbol{\varepsilon}}$ 能量值中,并识别信道上的可分离性,以单独最大化对于任何给定

矢量 $\underline{\omega}$ 和 $\underline{\phi}$ 的 $|X| \cdot U \cdot M^{|X|} \cdot U$ 个可能能量值上的每个 $\mathcal{L}_{X,u}$ 项。注意,该因子 $|X| \cdot U$ 对应于对 $|X|$ 个频带中每个频带中的每个增益计算的 $U$ 个干扰分量求和,而该 $M^{|X|} \cdot U$ 个因子对应于可以在计算 $b_u$ 时创建 $g_{u,X}$ 个值的所有可能的离散能量组合。可能的干扰转移的计算确实需要从矢量 $\mathbf{g} = [g_{1,X} \dots g_{U,X}]$ 到矩阵 $G$ 的信道增益的 $U \times U$ 张量一般化(每个矩阵元素被视为具有 $|X|$ 个输入/输出映射的函数)。已知OSB解的计算是复杂的, NP-Hard。当已经找到最佳矢量时,等式33和等式34中的最大值然后对 $L$ 中的项求和。OSB实施方式(缓慢收敛但易于描述)是梯度下降迭代(对于给定 $\theta$ 的最大加权速率和的RA问题),其中, $\underline{\varepsilon} = [\varepsilon_1 \dots \varepsilon_U]$ 且 $\underline{\varepsilon}_X = [\varepsilon_{1,X} \dots \varepsilon_{U,X}]$ ,因此每个能量都是索引为 $X$ 的频带的标量函数,如

$$[0174] \quad \Delta \underline{\varepsilon} = \underline{\varepsilon} - \sum_X \boldsymbol{\varepsilon}_X \quad (\text{等式 35})$$

$$\underline{\omega} \leftarrow \underline{\omega} + \alpha \cdot \Delta \underline{\varepsilon}$$

[0175] 其中, $\alpha$ 是正的“步长”常数。

[0176] 类似地,对于MA问题和固定能量权重矢量 $\underline{\omega}$ 和已知的可容许/可行目标速率矢量 $\mathbf{b}$ :

$$[0177] \quad \Delta \mathbf{b} = \mathbf{b} - \sum_X \mathbf{b}_X \quad (\text{等式 36})$$

$$\underline{\phi} \leftarrow \underline{\phi} + \gamma \cdot \Delta \mathbf{b}$$

[0178] 其中, $\gamma$ 是另一个正的“步长”常数。

[0179] 这样的解涉及很大的复杂性并且还需要每个无线电节点知道其他无线电节点的

信道增益(如果在瞬时基础上需要,则物理上是不可能的)。因此,在实施例中,第2阶段ESM被显著简化,使用对搜索的一些限制,其允许局部指导是局部瞬时值的函数,如现在重新审视(revisit)该示例所示。

#### [0180] 3.2.1示例重新审视

[0181] 对前面的示例重新审视很容易确定 $\epsilon_{1A}=2$ 且 $\epsilon_{1B}=0$ 的解,其中,替代地 $\epsilon_{2A}=0$ 且 $\epsilon_{2B}=2$ 产生数据速率 $b_1=2.6$ 和 $b_2=4.4$ (或7比特的总和)。仔细检查用户2的最低有效位会揭示用户2在本示例的第一个实例中具有稍高的数据速率。当然,用户1用这种FDM解执行得好得多,OSB也会为权重矢量 $\theta$ 的某个适当选择琐碎地生成该FDM解。实际上,OSB是该矢量的函数。OSB并不总是产生FDM解,因为它取决于权重矢量。总数据速率较高,并且用户2的数据速率本质上相同,而用户1被大大提高。速率总和高32%,而用户1好292%。在这种情况下,指导就像“用户1,使用信道A”和“用户2,使用信道B”一样简单。

#### [0182] 3.2.2正交维数划分(ODD)约束

[0183] OSB解通常表现出很强的ODD方面(FDM是一种简单的形式,但信道也可能在空间中),其通常使每个用户使用来自其他信道的一组互斥的信道,特别是对于用户权重的某个选择。

[0184] 实际上,ESM第2阶段将使LRM搜索所有可能的ODD解。如果信道数为 $|X|$ ,则每个用户可能有 $2^{|X|}$ 个可能的频带选择。对于 $U$ 个用户来说,如果为每个频道指派了相等的能量,则这将变成 $2^{|X| \cdot U}$ 个搜索。如果对于每个信道都有 $M$ 个能量选择,则这变为 $M^{|X| \cdot U}$ ,因此计算顺序与OSB相同。但是,ODD解的指导可能遵循与ESM第1阶段相同的格式,但有一个例外:活动用户的某些不同集合可能为同一受害用户产生相同的信道增益。LRM应在其计算中考虑这一点,并可能为此类情况提供最坏情况ODD(FDM)解。

[0185] 各种简化(例如,ISB和SCALE凸边界)可以用更快的算法近似基本OSB,正如多级迭代注水解可以的一样。对于仅搜索ODD解的限制,这些将有类似的修改。它们也对应于第2阶段ESM。第1阶段可能会优于第2阶段,简单地因为第1阶段在仅指定每个无线电节点的功能指导而不是遍历性强加的ODD约束方面的限制较少。但是,LRM将会知道这一点,并且简单地提供第1阶段类型的指导。实际上,这种情况下的无线电节点不知道它正由第1阶段还是第2阶段LRM操作。

[0186] 第2阶段ESM特别适用于在节点内具有子无线电节点的“网格网络”。在这样的系统中,子节点充当中继,并且因此对应于不同信道上的2个用户(一个接收并且一个重传)。为具有子节点的单个无线电节点操作的LRM将在网格的所有FDM解中找到最佳OOD解。也考虑在无线电节点之间使用第1阶段而在节点的网格内使用第2阶段的解是可行的。

[0187] 以下小节介绍了一种ODD特定算法,该算法极大地简化了搜索并且可以被视为“多级注水”算法的离散形式。

#### [0188] 3.2.3 4频带2用户复杂度示例

[0189] 另一个示例说明了复杂性的快速增长。回到图2,两个用户可以在他们之间划分4个信道。对于这个示例, $b_1=b_2=4$ 。如果允许整数比特,这意味着任何信道上的能级数不能超过 $M=5$ ,即零加上在该信道上传输1、2、3或4比特的能量。在这种情况下,对于2个用户对于4个信道中的每一个或 $(5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5)^2=5^8=390625$ 个可能的OSB频谱搜索选择,搜索的最大可能性数量不能超过5个级别。但是,这个最大数量可以减少:因为每个用户的比特必须

加到4,所以可能看到,如果一个用户针对所有4个比特只使用1个信道,那么对于该用户有4个选择(使用其中一个信道)。如果该用户改为在一个信道上放置3个比特,则该同一用户必须在其他3个信道之一上放置一个比特,从而导致12个更多的选择。类似地,如果该用户在一个信道上放置2个比特,则对于在另一信道上放置2个比特的情况,有6种不同的选择。同样对于在一个信道上放置2个比特的用户,还有另外3种方法在剩下的两个信道中的每一个上放置1个比特,因此小计为12。 $4+6+12+12=34$ 。所有4个信道上1个比特的最后一个组合得到35。然后,针对均具有4个比特的两个用户,组合的总数是 $35 \cdot 35=1225$ 。

[0190] 在ODD限制的情况下,复杂度进一步降低,整体复杂度可以降低到150个选择:如果

每个用户使用2个信道,则计算复杂度为 $\binom{4}{2} \cdot 5 = 30$  (5产生于两个信道中可能的比特分

布是40、31、22、13、04)。如果用户1使用1个信道,并且因此用户2最多可以使用3个信道,则有 $4 \cdot 15=60$ 个选择,其中4是用户1的可能信道选择,并且15是用户2的可能比特分布(400、310、301、220、211、202、130、121、112、103、040、031、022、013和004)。由于对称性,用户1到3信道和用户2到一个信道的反转是另外60个选择。一个用户的[1111]组合是不可能的,因为另一个用户无法获得4比特(或任何)带宽。因此,总的复杂度降低从 $35 \cdot 35=1225$ 减少到150个选择。

[0191] 然而,随着比特数(以及因此能量水平可能性)增加到例如LTE和Wi-Fi的6个可能的SQ QAM选择,数量迅速增加(对于4个信道)到接近 $2^{50}$ 个选择。

[0192] 3.2.4可实现的第2阶段ODD ESM算法

[0193] 在实施例中,第2阶段兼容的无线电节点可以向LRM提供对其用于观察间隔的使用量的指示。该指示可以通过一天中的时间、高峰时段、非高峰时段等来索引。LRM可以为所有用户计算给定规范时间/观察时段的每个用户的量。该量在此表示为 $V_u$ 。在实施例中,LRM从最大到最小对跨信道X的每个用户的信道增益进行排序。用户按从最大到最小 $V_u$ 的顺序排列。

[0194] 在实施例中,简化的示例性ODD算法可以包括以下步骤:

步骤 1	LRM 为具有最大 $V_u$ 的用户选择最大的信道 $X = \arg \left\{ \max_X (g_{u,X}) \right\}$ 并将 $X$ 指派给用户。
[0195] 步骤 2	$p_{g_i, g_u} \neq 0$ 的所有用户 $i \neq u$ 从其可用信道集合中删除 $X$ 。
步骤 3	对于用户 $u$ , 量减少与信道 $X$ 的使用相对应的量。
步骤 4	更新排序, 并重复步骤 1-3, 直到已经使用所有信道。

[0196] 该算法有点贪婪,因为它服务于具有最大需求量的用户,但是如果接收很少信道指派的用户因此开始看到更大的平均需求量,则这些需求可能会增加。该算法的复杂度基本上是 $U \cdot |X|$ ,即在第1阶段IW方法的数量级上。该算法本质上为由任何特定用户使用的不同信道创建了具有不同水位的注水问题。

## [0197] 3.2.5遍历OSB

[0198] 在实施例中,可以采用遍历形式的OSB。在只有无限的缓冲区调度延时和真正的遍历统计的情况下,遍历OSB保证最优性(在没有任何类似第3阶段的干扰消除的情况下)。在实施例中,遍历OSB可以使用每个频带X中信道增益的随机矢量的联合概率分布 $p_{g,X}$ 并变成

$$[0199] \quad \max_{\{\mathcal{E}_{u,X}\}} \sum_{u=1}^U \phi_u \cdot \underbrace{\left[ \sum_{g_{u,X} \in \mathcal{G}_{u,X}} p_{g_{u,X}} \cdot \log_2(1 + \mathcal{E}_{u,X} \cdot g_{u,X}) \right]}_{\langle b_u \rangle} \quad (\text{等式 37})$$

$$\text{ST: } 0 \leq \left[ \sum_{g_{u,X} \in \mathcal{G}_{u,X}} p_{g_{u,X}} \cdot \mathcal{E}_{u,X} \right] \leq \mathcal{E}_X \cap 0 \leq \phi_u \quad \forall u=1, \dots, U$$

[0200] 其中,每个用户的联合概率分布的边际分布的平均值 $P_{g_{u,X}}$ 是(通过对所有其他用户可能增益值求和得到):

$$[0201] \quad P_{g_{u,X}} = \sum_{g_{i \neq u, X}} P_{g,X} \quad (\text{等式 38})$$

[0202] 其被假设地预先计算和存储,涉及 $|\mathcal{G}|^U$ 个计算。拉格朗日项调节为

$$\mathcal{L}_{g_{u,X}} = \omega_u \cdot p_{g_{u,X}} \cdot \mathcal{E}_{u,X} - \phi_u \cdot p_{g_{u,X}} \cdot \log_2(1 + \mathcal{E}_{u,X} \cdot g_{u,X}), \text{ 其中 } \mathcal{L}_u = \sum_{g_{u,X} \in \mathcal{G}_{u,X}} \mathcal{L}_{g_{u,X}}, \text{ 并且然后等式 34}$$

保持不变。能量范围类似地划分为M个离散级别,并且然后复杂性变成对每个项的 $|\mathcal{G}| \cdot M$ 个计算,并且然后将这些最大值的 $|\mathcal{G}|$ 添加到 $\mathcal{L}_u$ 中的每个索引中,因此然后 $|\mathcal{G}|^2$  ( $|\mathcal{G}|$ 是所有频带X上任何用户的最大增益段数)。EIW的复杂度可能看起来比IW小,但是大的计算负担转移到了等式38中概率分布的大计算量 $|\mathcal{G}|^U$ 上。梯度搜索步骤调节为

$$[0203] \quad \Delta \underline{\mathcal{E}} = \underline{\mathcal{E}} - \sum_{g \in \{\mathcal{G}_{1,X} \otimes \dots \otimes \mathcal{G}_{U,X}\}} p_{g,X} \cdot \underline{\mathcal{E}}_X \quad (\text{等式 39})$$

$$\underline{\omega} \leftarrow \underline{\omega} + \alpha \cdot \Delta \underline{\mathcal{E}}$$

[0204] 或对于MA情况

$$[0205] \quad \Delta \mathbf{b} = \mathbf{b} - \sum_{g \in \{\mathcal{G}_{1,X} \otimes \dots \otimes \mathcal{G}_{U,X}\}} p_{g,X} \cdot \mathbf{b}_X \quad (\text{等式 40})$$

$$\underline{\phi} \leftarrow \underline{\phi} + \gamma \cdot \Delta \mathbf{b}$$

[0206] 可以使用比缓慢收敛梯度更复杂的搜索/下降方法。

## [0207] 3.3第3阶段-矢量化的ESM

[0208] 第3阶段矢量ESM允许通过多个无线电节点的多天线系统的一些额外协调来消除空间干扰。第3阶段ESM实质上是配置多个天线以提供信号分离,而无需执行实时信号消除。每个ESM第3阶段无线电节点都有多个天线,至少用于下行链路发送和上行链路接收。每个无线电节点的小区(与无线电节点“颜色”相同,即相同频带)中的设备可能具有一个或多个

天线。在实践中，第3阶段ESM无线电节点比当前设备拥有更多天线，理想情况下，此类无线电节点天线的数量大大超过用户总数， $L \gg U$ 。因此，ESM的第3阶段取决于无线电节点中是否存在大规模MIMO。本小节关注于具有L个天线的无线电节点，以及均具有1个或更多个天线的设备。但是，计算是针对每个设备/用户情况的单个天线。扩展到更多设备天线在符号上是乏味的，但对于本领域技术人员来说将是直接的。

[0209] 在任何节点内，多用户MIMO (MU-MIMO) 方法可以利用对角占优，这也将出现在无线应用中的大L的情况下。这些受益于节点学习的知识和对所有下行链路传输的协调管理，或者可替代地从单个点的所有上行链路信号的学习的协同处理中受益。这些方法利用一般化决策反馈均衡器或其双重一般化预编码器形式，并且在矢量广播和矢量多址信道上具有本质上最佳的多用户性能。同样，它们都需要在无线电节点进行集中控制。

[0210] ESM第3阶段假设其他无线电节点的信号的预编码干扰消除是不可能的(因为，与MU-MIMO/矢量化情况不同，这些信号在物理上不可用)。ESM与LTE的协调多点传输(CoMP)不同，后者使用较小级别的天线操作，并在瞬时传输信号级别协调物理上分离的无线电节点。类似地，接收器无法(通常)对另一个无线电节点的用户干扰进行个别地控制的后编码减法，因为它可能无法访问该无线电节点的用户信号，也不能(自身)解码该无线电节点的用户信号。但是，如果无线电节点有足够多的“额外”天线，则可以在空间上线性地利用这些额外维度，使得无线电节点共同将下行链路转向至彼此的“零空间(null space)”(或零/陷波上行链路)。充足的额外天线通常意味着天线数量超过用户总数。超出的部分越大，转向和获取的可能性就越大，而不显式需要其他无线电节点的用户信号(与MU-MIMO不同)。已经表明，通常用户数量的2倍到3倍足以使天线数量被视为大。

[0211] ESM第3阶段再次假定无线电节点的符号同步。这可以通过无线电节点通过超出本公开范围的几种方法使用通用推断时钟来实现，但第5节提供了一些建议。更好的同步意味着更高的空间精度。

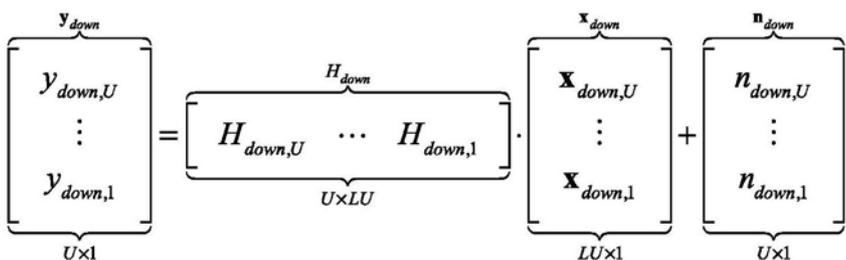
[0212] 3.3.1 矢量信道模型

[0213] 为了理解ESM矢量化，首先概括确定性信道模型。对于确定性模型，能预知的控制器理论上可以访问图7中的大信道增益矩阵H和非用户噪声自相关矩阵 $R_{nn}$ ，使得所有信道输出对所有用户输入x的响应y的矢量遵循矢量模型

[0214]  $y = Hx + n$  (等式41)

[0215] 增益矩阵G将是  $G = H^* \cdot R_{nn}^{-1} \cdot H$  并且将在其中包含根据每个信道对所有其他信道的增益指定的所有干扰路径。具有这些约束的等式41被称为矢量干扰信道。

[0216] 整个下行链路多用户信道具有U个输出端(每个设备或输出端处有1个天线)，并且每个输入无线电节点具有 $L \gg U$ 个天线，并且因此总共有LU个天线。模型是：

[0217]  (等式 42)

[0218] 来自用户输入u的传输对应于模型组件，其是来自 $1 \times L$ 输入 $x_{down,u}$ 的贡献，并且用

户u的对应输出组件可以写成：

$$[0219] \quad \underbrace{y_{down,u}}_{1 \times 1} = \underbrace{H_{down,u}}_{1 \times L} \cdot \underbrace{x_{down,u}}_{L \times 1} + \underbrace{n_{down,u}}_{1 \times 1} \quad (\text{等式 43})$$

[0220] 当 $L \gg U$ 时,该信道的输入 $x_{down,u}$ 可以将零能量波束成形到每个其他用户 $i \neq u$ 的单个天线位置(方向)。

[0221] 对应地,上行链路信道可以在每个用户位置用单个标量发射天线类似地建模,所有发射到U个单独的无线电节点：

$$[0222] \quad \underbrace{\begin{bmatrix} y_{up,U} \\ \vdots \\ y_{up,1} \end{bmatrix}}_{LU \times 1} = \underbrace{\begin{bmatrix} H_{up,U} & \cdots & H_{up,1} \end{bmatrix}}_{LU \times U} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} x_{up,U} \\ \vdots \\ x_{up,1} \end{bmatrix}}_{U \times 1} + \underbrace{\begin{bmatrix} n_{up,U} \\ \vdots \\ n_{up,1} \end{bmatrix}}_{LU \times 1} \quad (\text{等式 44})$$

[0223] 在上行链路情况下,每个无线电节点u具有上行链路 $L \times 1$ 接收矢量,其为

$$[0224] \quad \underbrace{y_{up,u}}_{L \times 1} = \underbrace{J_u}_{L \times LU} \cdot \underbrace{H_{up}(u)}_{LU \times U} \cdot \underbrace{x_{up,u}}_{U \times 1} + \underbrace{n_{up,u}}_{L \times 1} \quad (\text{等式 45})$$

[0225] 其中 $J_u$ 是一个打孔矩阵,在位置中具有身份以仅传递用户u的输出维度和其他地方的零,因此它传递 $H_{up}$ 的适当L行。在上行链路方向上, $L \times U$ 信道行子集矩阵 $H_{up,u}$ 的U-1列( $i \neq u$ )中的每一个代表干扰。当 $L \gg U$ 时,单个 $1 \times L$ “均衡器”(分集组合器)可以将用户u的检测器的检测点处的所有用户 $i \neq u$ 能量归零,使得只接收到用户u。

[0226] 在不同的无线电节点可以使用相同的信道用于上行链路和下行链路的情况下,模型中的用户数量实际上加倍( $U \rightarrow 2U$ ),并且个体用户的输入/输出模型中的一些在 $L \times 1$ 至 $L \times L$ 下行链路与 $1 \times L$ 至 $L \times L$ 上行链路之间的任何位置具有相应的维度。

### [0227] 3.3.2 矢量干扰信道的优化

[0228] 当下行链路发射天线的数量对于许多或所有无线电节点的发射器相对于用户的数量而言较大时( $L \gg U$ ),高矩阵 $H_{down,u}$ 可以用在每个无线电节点的大量L个天线集合处的线性发射矩阵的集合进行预处理(预编码)。这为每个大量天线发射器的无线电节点创建了许多自由度,空间模式可以在这些自由度上进行传输。这些空间模式可以被激励或归零,以便只有期望的接收器从预期用户捕获能量。在非预期用户的空间方向上传输的能量被归零。除了两个用户完全在同一条线路上并通过所有发射天线位置的奇异情况外,足够多的天线可以实现空间分离。双上行链路,大量接收天线可能仅从预期用户处捕获能量,同时切入所有其他用户的方向。这些效应有时被称为“信道硬化”。

[0229] 图7示出了根据本公开的实施例的用于用户u的示例性自适应处理器。描绘的是发射正交矩阵调谐器,它在除预期位置之外的所有位置将能量输出归零。对于图7的发射预编码器的 $W_{down,u}$ (下行链路)或接收后编码器的 $W_u$ (上行链路)的瞬时调整的确定性情况,如果任一发射(下行链路)或一个接收(上行链路)位置L的天线数量显著超过用户数( $L \gg U$ ),则可以大幅度地消除干扰。在这些情况下,线性解是(渐近)最优的,并且可以使用对应的钉

扎矢量 (pinning vector)  $\sigma_u$  为每个用户找到线性解, 该钉扎矢量除了第  $u$  个位置中的一个“1”之外都为零。如果对应的  $U \times L$  下游矩阵由  $H_{down,u}(u)$  给出, 则最优的同步线性预编码器集合 (均对其自己的输入操作) 由下式给出为  $L \times 1$  矢量

$$[0230] \quad W_{down,u} = \underbrace{H_{down,u}^+}_{L \times U} \cdot \underbrace{\sigma_u}_{U \times 1} = \alpha_{w,u} \cdot \underbrace{H_{down,u}^*}_{L \times U} \left[ \underbrace{H_{down,u} \cdot H_{down,u}^*}_{U \times U} + I \right]^{-1} \cdot \sigma_u \quad (\text{等式 46})$$

[0231] 其中  $\alpha_u$  是确保发射能量不增加的标量。“+”的上标表示当  $I$  项被忽略时的伪逆。(在等式 46 中的迫零方法 (没有太多损失) 中通常会忽略添加的身份。) “\*” 的上标表示共轭转置。对应的上行链路接收器后编码器为  $1 \times L$  且等于

$$[0232] \quad W_{up,u} = \underbrace{\sigma_u^*}_{1 \times U} \cdot \underbrace{H_{up}^+}(u)_{U \times L} = \sigma_u^* \cdot \left( \underbrace{H_{up}^*}(u) \cdot H_{up}(u) + I \right)^{-1}_{U \times U} \underbrace{H_{up}^*}(u)_{U \times L} \quad (\text{等式 47})$$

[0233] 下游矩阵  $H_{down}$  和上游矩阵  $H_{up}$  不必是相同的上游和下游。该系统支持空分复用, 其中所有用户可以共享相同的时间/频率维度, 因为大量的发射 (下游) 天线或接收 (上游) 天线本质上在其他用户的方向上波束成形了一个陷波, 因此, 允许公共信道的空间重用。但是, 对控制的要求很严格, 因为没有一个设备或无线电节点可以访问所有信号, 使得需要在中央 (LRM) 位置知道它们的信道的  $[H_{down} \ H_{up}]$ 。在矢量干扰信道中, 没有一个用户需要来自其他信道的输入 (它们在不同位置处理, 但需要知道信道矩阵)。这种矢量 ESM 解类似于每个无线电节点将所有其他系统视为在其自己的小区内并相应地调整天线/空间, 就像在 MU-MIMO 系统中一样; 然而, 每个都具有在链接相关用户的一条非零路径上靠近其自己的无线电节点的好处。这样的系统理想地允许跨空间的频率/时间维度重用, 并使用训练协议在用户之间同意空间重用的时间/频率网格上同步。本质上, 这就是在第 3 阶段 ESM 中使用公共符号时钟的原因。

### [0234] 3.3.3 更新预编码器和后编码器

[0235] 第 3 阶段 ESM 认识到每个  $L \times L$  预编码器/均衡器可以首先通过识别的信道矩阵的 QR 分解来本地计算。对于下行链路, 该信道矩阵本质上是一次递归构建一个用户的行  $h_u$  (从无线电节点天线到单用户天线的复杂测量增益)

$$[0236] \quad H_{down,u} = \begin{bmatrix} h_{down,u} \\ H_{u-1} \end{bmatrix} \quad (\text{等式 48})$$

[0237] 在初始化期间到无线电节点, 对应于发送给它的训练信号的每个用户的标识。该初始化为与该同一无线电节点关联的设备返回此信息。然而, LRM 可以为每个用户 (相对于每个无线电节点的  $L$  个天线) 收集 (例如, 更慢地) 这些信道行矢量。此标识将与无线电节点颜色相关联 (不同于与每个设备的主要环境相关联的无线电节点颜色)。然后, 每个节点可以接受这种有效的“用户方向”矢量 (来自 LRM) 作为等式 48 的 QR 分解 (其变得更大, 但仍然可计算, 因为  $U < L$ ) 的输入。只要用户相对于无线电节点的位置保持不变, 具有第 3 阶段能力的无线电节点可以简单地接受 (最多)  $U-1$  个这样的矢量, 以添加到其 QR 分解以确定传输预编码器矩阵。每行可以写成

$$[0238] \quad \mathbf{h}_{down,u} = \begin{bmatrix} \underbrace{\tilde{\mathbf{h}}_{down,u}}_{L-u-1} & \underbrace{\hat{\mathbf{h}}_{down,u}}_{u-1} \end{bmatrix} \quad (\text{等式 49})$$

[0239] 其中分离点 $u$ 随着用户数量的增加而增加(向左移动)。可以在任何无线电节点对用户重新排序,使得感兴趣的用户在底部,因此, $\sigma_u \rightarrow \sigma = [0 \dots 0 \ 1]$ 。因此,用户1是在其自己的无线电节点(或颜色)的单天线接收器处希望其发射能量为非零的用户。然后,用户索引 $u \geq 2$ 指的是希望在其方向上进行零能量传输的其他用户。当 $u=1$ 时,情况是单用户且 $\mathbf{h}_u = \tilde{\mathbf{h}}_u$ 。然后 $u \times L$   $H_{down,u}$ 的QR分解可以写成

$$[0240] \quad \mathbf{H}_{down,u} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{L-u} & \mathbf{R}_{down,u} \end{bmatrix} \cdot \underbrace{\mathbf{Q}_{down,u}^*}_{L \times L} \quad (\text{等式 50})$$

[0241] 其中当 $L > U$ 时, $\mathbf{Q}_{down,u}$ 为单一的(unitary) ( $\mathbf{Q}\mathbf{Q}^* = \mathbf{Q}^*\mathbf{Q} = \mathbf{I}$ )且不唯一。此外,当 $L \gg U \geq u$ 时,正方形上三角矩阵 $\mathbf{R}_{down,u}$ 将对角占优,因此非对角项相对于对应行中的对角元素较小。通过结合等式49和等式50,

$$[0242] \quad \mathbf{H}_{down,u} = \begin{bmatrix} 0 & \|\tilde{\mathbf{h}}_{down,u}\| & \hat{\mathbf{h}}_{down,u} \\ 0 & 0 & \mathbf{R}_{down,u-1} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{Q}_{down,u-1}^* \cdot \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_{down,u}^* & 0 \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (\text{等式 51})$$

[0243] 其中 $\tilde{\mathbf{Q}}_{down,u}$ 是正交矩阵,其可以通过将所有 $\|\tilde{\mathbf{h}}_{down,u}\|$ 能量旋转到最右侧分量的一系列 $L-u$  Givens旋转(或单个Householder变换)来实现。当 $L \gg U$ 时,对角占优在启发式上是显而易见的,因为矢量的任何 $u \leq U$ 分量都远小于所有 $L-u$ 分量的几乎全部能量。求解等式46与等式51产生解

$$[0244] \quad \mathbf{W}_{down,u} = \mathbf{Q}_{down,u} \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{R}_{down,u}^{-1} \end{bmatrix} \cdot \boldsymbol{\sigma} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_{down,u} & 0 \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix} \mathbf{Q}_{down,u-1} \cdot \frac{\boldsymbol{\sigma}}{\|\mathbf{h}_{down,1}\|} \quad (\text{等式 52})$$

[0245] 这相当于通过新用户 $u$ 的Givens旋转来旋转 $u-1$ 个用户的解的最后一列。对角/三角矩阵变为 $\mathbf{R}_{down,u} = \text{diag} \left\{ \|\tilde{\mathbf{h}}_{down,u}\| \dots \|\tilde{\mathbf{h}}_{down,2}\| \|\mathbf{h}_{down,1}\| \right\}$ 。上行链路过程是相同的,简单地通过交换矩阵(再次 $L \gg U$ 对角(列)占优)而得到

$$[0246] \quad \mathbf{W}_{up,u} = \frac{\boldsymbol{\sigma}^*}{\|\mathbf{h}_{up,1}\|} \cdot \mathbf{Q}_{up,u-1}^* \cdot \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{Q}}_{up,u}^* & 0 \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix} \quad (\text{等式 53})$$

[0247] 对于上行链路,无线电节点可以直接从其小区内的设备识别信道(例如,Wi-Fi中的相同SSID)。LRM可以指示其他颜色的无线电节点何时被激发,并且因此,对于每个其他颜色的活动上行链路用户的附加上行链路列,可以在确定 $\mathbf{W}_u$ 的QR分解之前向 $\mathbf{H}_u$ 添加附加列。如果设备相对于无线电节点是静止的,那么这些附加列应该是恒定的。

[0248] 可以根据重要性对用户的行进行排序,以根据 $\|\mathbf{h}_u\|^2$ 的值添加到整个信道矩阵,

因为否则这种干扰将是最大的噪声贡献。

### [0249] 3.3.4 矢量化ESM示例

[0250] 两个无线电节点操作下行链路,每个无线电节点都具有L=5个发射天线。每个无线电节点都尝试在同一频带与具有1个天线的单个用户进行通信。有来自其他无线电节点的单个用户的干扰。用于说明效果的简单模型是

$$[0251] \quad \begin{bmatrix} y_2 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & .9 & .9 & -.9 & -.9 & -.9 \\ -0.5 & -0.5 & .5 & .5 & .5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{25} \\ x_{24} \\ x_{23} \\ x_{22} \\ x_{21} \\ x_{15} \\ x_{14} \\ x_{13} \\ x_{12} \\ x_{11} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_2 \\ n_1 \end{bmatrix} \quad (\text{等式 54})$$

[0252] 在等式54中,两个输入中的每一个都可能具有总功率1(跨所有天线)并且噪声可能是独立的、高斯的且方差为0.01。这样的信道过于简单,但会造成用户1以低于信号电平6dB干扰用户2的情况(负号表示存在一些相位差异,但不会使此处旨在说明基本概念的数学过于复杂)。用户1受到来自用户2的更严重的干扰(例如,仅降低了1dB),这可能表明轻微的“远-近”信道。用户2在设备端与用户1物理分离。无线电节点2无权访问用户1的输入,反之亦然。尽管如此,信道矩阵可以写成等式54。无线电节点2处的线性下行链路预编码器是一个 $5 \times 1$ 矩阵,其可以从等式46计算如下

$$[0253] \quad W_{down,2} = H_{down,2}^* \cdot (H_{down,2} \cdot H_{down,2}^*)^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{4} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} \\ \frac{1}{6} \\ \frac{1}{6} \\ \frac{1}{6} \end{bmatrix} \quad (\text{等式 55})$$

[0254] 伪逆的第二列示于等式55中,因为这可能是两个用户的角色颠倒了(或甚至从一个节点漫游到另一个节点),但只有用户2对用户2的设备来说是重要的。这很容易通过计算下式来检查

$$[0255] \quad H_{down,2} \cdot W_{down,2} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{等式 56})$$

[0256] 这意味着来自用户1的任何能量都不会出现在接收器2处。类似地,

$$[0257] \quad H_{down,1} \cdot W_{down,1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{等式 57})$$

[0258] 因此,两个用户可以共享相同的频率/时间维度。为了确保跨5个天线有1个单位的

能量,注意到 $\|W_{\text{down},2}\|^2=0.2$ 或 $1/5$ 是有用的,使得预编码器的输入能量为5个单位,以确保在所有天线上传输1个单位的能量。这5个单位可以无干扰地到达用户2的设备。除了同步之外,无线电节点2对无线电节点1的输入一无所知(反之亦然)。这是最简单形式的矢量化ESM。但是,矢量化ESM不是最佳的。对于小噪声,该信道上的最佳接收器将依赖于等式50中的因式分解,针对其R矩阵可以被发现为

$$[0259] \quad R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}\sqrt{5} \end{bmatrix} \quad (\text{等式 } 58)$$

[0260] 矩阵在5个天线的情况下不是完全对角占优,但完美脏纸预编码器的损耗因子将为4。最佳预编码器的整体第3阶段ESM改进为 $5/4=1\text{dB}$ 。因此,使用线性而不是最佳非线性预编码器会损失1dB。如果在此示例中 $L \rightarrow 10$ (其中,干扰系数保持为幅度0.5),则损耗为0.46dB,并且在 $L=100$ 的情况下,损耗为0.04dB。因此,在确保线性解接近最优方面,对角占优越来越明显。可以构建类似的上行链路示例。这里的总体增益至少为100%,因为两个用户可能共享以前只有1个用户可以使用的带宽(并且如果两个用户都在流式传输,冲突检测将显著增加到100%以上,类似于第3.1小节中的示例)。

[0261] 4. MCS标准、功能规范和增益的概率分布估计

[0262] 本节首先处理LRM对基于QoE的MCS选择和第3节的频谱优化的分离。图8图示了根据本公开的实施例的用于单个用户的示例性ESM过程。图8中的整个ESM过程800示出了对LRM 102的参数反馈和来自LRM 102的功能指导822、824。无线电节点(例如,802)向LRM 102提供最近信道增益804和MCS值806以及各种最近历史QoS参数 $\theta_{\text{u}}$ 808。在实施例中,与信道增益概率分布 $P_{g_u}$ 的计算并行(见第2.4小节),LRM 102处理这些值以产生QoE估计,如第4.1小节所述。后者 $P_{g_u}$ 可以在第3节中用于计算频谱功能指导。

[0263] 在实施例中,功能指导可以包括能量函数840,其可以是给定g的情况下定义能量的函数。功能指导还可包括给定g的情况下定义MCS的MCS函数(例如,MCS偏移850)。函数可以以任何格式进行传送,例如表格。在实施例中,函数不需要完整地传送到无线电节点802。可以增量更新或基于增量信息来更新该函数。可以在不同时间以不同数量提供反馈,而无需完整描述整个函数,例如,在部分表格中或通过任意数量的表格条目。

[0264] 在实施例中,信道增益的概率分布 $P_{g_u}$ 映射到遍历-平均MCS 830,其进而可由逻辑回归处理器820使用,例如,以确定无线电节点的MCS选择是否与用户的QoE一致。在实施例中,可以使用诸如一般化线性模型、梯度提升方法或隐马尔可夫模型之类的其他机器学习算法来代替逻辑回归。

[0265] 在实施例中,QoE数据包括与互联网用户/事物幸福度的测量指示相关联的数据。示例可能包括用户对服务/帮助台的投诉电话/消息、用户请求聊天框帮助、维修、派遣到用户所在位置、服务中断(放弃/退出)、客户调查响应、平均意见得分、使用喜欢/不喜欢按钮等。在一个实施例中,该信息可以从无线电节点传送到LRM。在其他实施例中,该信息可以传送给运营商管理系统的其他子系统,例如来自呼叫中心系统的呼叫日志。

[0266] 在实施例中,QoS数据包括性能度量,例如分组错误率、数据速率变化、中断概率等。第4.1小节介绍了逻辑回归方法以基于对QoE数据指示的较早历史训练根据QoS估计

QoE,假设这种关系下的遍历性水平。由于封闭的反馈系统,ESM可以有效地联合优化频谱和MCS,尽管两者在很大程度上是独立的,从而简化了传统RRM的主要挑战之一。第4.2小节描述了马尔可夫模型(状态转换控制系统),它通过如由QoE估计确定的偏移方法来简化MCS优化指导。

[0267] 4.1来自QoS的QoE

[0268] 在实施例中,对于ESM,QoS目标可以通过逻辑回归计算扩展到QoE,该逻辑回归计算将诸如“快乐/悲伤用户/客户”之类的QoE随机变量与各种测量的QoS可观察量的线性组合相关联:

$$[0269] \quad LLR_{QoE} = \log_{10} \left( \frac{p_{QoE}}{1 - p_{QoE}} \right) = \sum_{j=0}^J \beta_j \cdot \theta_j \quad (\text{等式 59})$$

[0270] 其中LLR是对数似然比,并且 $p_{QoE}$ 是客户QoE好的概率。注意,虽然 $LLR_{QoE}$ 与逻辑回归方法一起使用,但这并不意在作为对本公开范围的限制,因为 $LLR_{QoE}$ 可以使用包括机器学习方法的其他方法(例如,监督学习)来导出。

[0271] 等式59中的变量 $\theta_j$  ( $j=1, \dots, J$ )可能包括可观察量,如特定用户链路上的历史冲突数量(或百分比)、链路上的错误或擦除指示、设备型号/版本指示器、大(最大-最小)数据速率变化、应用程序类型(流视频与短数据分组与音频等),和/或其他可观察的度量。图8表明当前报告的MCS和信道增益值可能是整个ESM过程中使用的可观察量。在实施例中,可以从其他数据中提取特征,并且然后例如通过将非线性函数(例如,神经网络整流线性单元(RELU))应用于可观察数据,来将特征转换为可观察量。 $\beta_0$ 可以是偏移/常数,并且因此, $\theta_0 = 1$ 。在实施例中,LRM可以学习系数 $\underline{\beta} = [\beta_0 \dots \beta_J]$ 的行矢量。可观察量可以类似地堆叠到一个列矢量 $\underline{\theta}$ 中,所以 $LLR_{QoE} = \underline{\beta} \cdot \underline{\theta}$ 。在实施例中,等式16中的QoS标准则可以更新为QoE标准

$$[0272] \quad \max_{r, |C|} \bar{b} = r \cdot \log_2 |C|$$

[0273] 受制条件:  $\Pr \{ LLR_{QoE} < \text{阈值} \} \leq 1 - r$  (等式60)

[0274] LRM还可以通过LRM收集的各种用户QoE数据来获知客户-QoE概率 $LLR_{QoE}$ 。在实施例中,可以从该QoE数据在观察间隔(例如,比符号周期相对长得多的间隔)上估计(或更新) $LLR_{QoE}$ 。概率 $p_{QoE}$ 可以在几个连续的观察间隔上获知,并且对于不同类型的观察间隔(例如,小时、天、高峰使用/非高峰使用时段等)可以具有不同的值。本领域技术人员将理解逻辑回归可以用于成本函数而不是约束。例如,以下等式的解最小化降低很差QoE概率,同时满足最低速率要求。

$$[0275] \quad \min_{r, |C|} \Pr \{ LLR_{QoE} < \text{阈值} \}$$

[0276] 受制条件:  $\bar{b} = r \cdot \log_2 |C| > b_{\min}$  (等式 61)

[0277] 注意,根据本公开的各种实施例,将QoE数据与一个或多个测量的QoS可观察量相关联的其他函数可以用作自适应优化过程中的合适约束。例如,可以使用一般化线性模型、梯度提升算法、隐马尔可夫链来代替逻辑回归。

[0278] 在实施例中,ESM可以跨这样的观察间隔应用个体的度量,例如,如等式59中所定义的。等式59中log的底缩放所学习的 $\underline{\beta}$ 。以10为底的对数导致简单的解释,例如 $LLR_{QoE}=2$ 意味着用户大约有 $99\%$ 的时间是快乐的,而 $LLR_{QoE}=5$ 代表“五个九的可靠性”,等等。在实施例中,数量 $p_{QoE}$ 可以被假定为平稳的或真正遍历的(如果针对不同的时间如高峰、非高峰或一周中的时间分别计算,则还可以使用术语“循环平稳”或“循环遍历”)。除了增加了一致的循环遍历/静止部分的某个随机不可预测的部分之外,连接性使用模式/统计数据经常在该领域被发现是一致的周期性。随机部分在ESM中固有地被平均或统计上有界。

[0279] 在实施例中,回归矢量 $\underline{\beta}$ 可以从用于计算 $p_{QoE}$ 的原始数据集计算,其可以匹配到 $\underline{\theta}$ 的观察间隔。这种计算可以使用一系列连续观察间隔的索引 $k$ 。例如,发生任何事件(如呼叫、分派、“不喜欢按钮”等)的观察间隔可以被视为二元QoE变量 $d$ ,其中 $d=0$ ,而没有(负面)消费者反应的时段设定为 $d=1$ 。这些变量可以在一组这样的观察间隔上聚合成数据矢量 $d$ 。对应地,对应观测间隔指数 $k$ 的观测值为 $\underline{\theta}_k$ 。矩阵 $\Theta$ 可以将这些测量矢量堆叠为行,使得

$\Theta^* = \begin{bmatrix} \underline{\theta}_0^* & \underline{\theta}_1^* & \dots \end{bmatrix}$ 。通过初始化 $\hat{\underline{\beta}}_0 = 0$ 的估计并将数据的中间概率估计定义为,量 $p_{QoE}$ 可以估计为

$$[0280] \quad \hat{p}_{QoE} = \frac{1}{1 + 10^{-\hat{\underline{\beta}}_k \cdot \underline{\theta}_k^*}} \quad (\text{等式 62})$$

[0281] 可以对所有观察到的数据计算迭代重加权最小二乘法(IRLS),计算为

$$[0282] \quad \hat{\underline{\beta}}_{k+1} = \hat{\underline{\beta}}_k + \Theta^* \cdot (d - \hat{p}_{QoE,k}) \quad (\text{等式 63})$$

[0283] 其将在合理条件下收敛。

[0284] 在实施例中,一旦找到可接受的 $\underline{\beta}$ ,它就可以用于通过等式59计算 $LLR_{QoE}$ 的估计(对于尚不知道实际QoE数据但可能与之前的调查结果完全一致的情况)。这可能是针对个体用户进行特殊化,具体取决于LRM所需的复杂程度(以及可用较早训练数据的龄期(age)),如第4.2小节进一步检查的。

[0285] 随着LRM经验在几个观察间隔上增长,矢量 $\underline{\beta}$ 可以与计算出的分布 $p_g$ 一起使用来预测将与适当的对应能量一起使用的信道/维度,但随后也用于预测将在遍历上最佳的调制编码系统(MCS)参数 $[r|C|]$ 。有利地,将MCS参数与指定的谱能量分离不会降低性能,并且它构成了对许多RRM方法的简化。在实施例中,这些MCS参数(作为 $g$ 的简化函数)可以作为一组推荐的动作被传送到无线电节点,对于该无线电节点随后观察到的瞬时 $g_{geo,x}$ 值采取这些动作。该 $g_{geo}$ 也可以(有延时地)报告给LRM作为LRM后续计算的历史数据,如图8所示,来完成ESM反馈过程。以这种方式,LRM可以更新其分布和导出的函数输出以适应任何新的(意外的和未预测的)条件。

[0286] 4.1.1示例——特征提取

[0287] 在训练数据中观察到QoE概率 $p_{QoE} = .99$ ,这意味着100名用户中只有1名用户表现出不满。三个可观察到的QoS参数可用:特定时间间隔内的分组错误数、该间隔内意外重新训练或中断的次数,以及该间隔内最大数据速率和最小数据速率的差异。在训练或特征提取中,需要注意的是,不满时段通常会表明存在以下3种情况中的至少2种:

表 3a - 3 个可观察量的特征提取的阈值

[0288]

分组错误 > 100	$\theta_{PE} = -1$ ; 否则 $\theta_{PE} = -1$
中断 > 3	$\theta_{OUT} = -1$ ; 否则 $\theta_{OUT} = -1$
数据速率变化 > 2	$\theta_{\Delta R} = -1$ ; 否则 $\theta_{\Delta R} = -1$

[0289] 表3a中的简单特征提取实质上可将可观察量硬限制在发生阈值处。然后,可以估计  $LLR_{QoE}$ , 例如, 导致  $\beta_{PE} = \beta_{OUT} = \beta_{\Delta R} = \frac{2}{3}$ , 这将对应用于表3b中的QoE范围规范:

表 3b - 阈值之间连续范围的推断特征提取

[0290]

非常稳定	$LLR_{QoE} < -\frac{4}{3}$
稳定	$-\frac{4}{3} \leq LLR_{QoE} < 0$
不稳定	$0 \leq LLR_{QoE} < \frac{4}{3}$
非常不稳定	$\frac{4}{3} \leq LLR_{QoE}$

[0291] 然而, 观察到的特征提取可能反而是具有极值+1的分段线性函数, 但中间值针对低于阈值的指示水平被允许。在这种情况下,  $LLR_{QoE}$  取连续的值并落入范围之一中。可以学习阈值 (如可以调整  $\beta$  的值)。这可以被建模为在第一阶段具有RELU的深度2神经网络, 以实现低于表3a中特征阈值和阈值以下的连续输出, 并在第二 (线性) 阶段实现  $\beta$ 。然后, 计算的  $LLR_{QoE}$  提供了一种评估当前ESM指导函数是否需要在MCS编码参数函数上更新的方法。例如, 太多非常不稳定的测量值会建议在指导函数中使用更保守的编码参数, 例如较低的码率和/或较小的星座大小, 而非常稳定的指示会建议对较大的数据速率使用较高的编码率和较大的星座大小。这些转而可能导致阈值和/或  $\beta$  值的进一步调节。第4.2小节说明了一个相当简单的状态机 (或马尔可夫模型), 其可用于此类情况以在很大程度上确保反馈系统的稳定性。

[0292] 4.2回归和优化过程的马尔可夫建模

[0293] 图9图示了根据本公开的实施例的包括用于特定无线电节点的MCS参数选择的示例性LRM的状态转换表 (隐马尔可夫模型)。图9中的每个框表示一个状态。暗框包含特定的示例数字, 并且通过检查可以很容易地为空框确定类似的数字: 星座大小  $|C|$  在图上向上增加, 并且码率参数  $r$  向右增加。具有最暗框的路径表示从QPSK ( $|C|=4$ ) 和  $r=1/3$  开始的MCS选择的可能序列。在实施例中, ESM优化过程首先使码率增加到  $r=1/2$ , 同时保持星座大小为QPSK; 然后ESM过程在保持码率的同时将星座大小增加到16QAM; 这些变化先于另一次码率增加、两次星座大小增加和码率降低, 然后再确定特定状态 (MCS设置) 对于某个系统来说是最佳的。这个ESM优化序列可能已经发生, 例如, 对于根据等式16优化的代码。在实施例中, 对于某些QoE度量, 该序列可以出现在LRM中, 这些QoE度量已经作为在逻辑回归过程中包括MCS状态本身的函数进行了学习, 如图8中的反馈路径所示。

[0294] 在实施例中,LRM假设地知道无线电节点可以实现的代码和选择。这些可以在传输系统的标准中指定(例如,最近的Wi-Fi版本有超过100种可能的MCS设置被标准规定),或者它们可以被学习,例如,随着时间的推移,根据观察提供给LRM的MCS设置,例如,通过创建可能会随着设置的观察和应用而扩展的图9的初始稀疏版本。如图9表示,在转换表中向上和向右对应于更好的QoE,而向下和向左表示QoE恶化。可以理解,优化应该尽可能在状态机中向上和向右移动,而不违反QoE,因为这些方向对应于更高的数据速率。正如本领域技术人员将理解的那样,过于激进的行为可能会导致对其他系统的干扰增加并引起响应,其进而可能产生反向干扰,这导致信道增益降低,在这种情况下,状态将在转换表中被向左和/或向下移动。在实施例中,转换可以包括 $LLR_{QoE}$  阈值以确定是否应该进行转换或者是否最好地保持在当前状态下。

[0295] 4.2.1示例——QoE估计:

[0296] 表4示出了根据本公开的各种实施例的用于特定状态的4个示例性的可能阈值和相关联的动作。

[0297]

增加星座大小 $ c $	$LLR > LLR^{++} \geq 3.0$	向上移动 (+2)
提高码率 $r$	$LLR^+ = 2.5 \leq LLR < 3.0 = LLR^{++}$	向右移动 (+1)
无变化	$2.0 \leq LLR < 2.5 = LLR^+$	保持 (0)
降低码率 $r$	$LLR^- = 1.9 \leq LLR < 2.0 = LLR^-$	向左移动 (-1)
减小星座大小 $ c $	$LLR < 1.9 = LLR^-$	向下移动 (-2)

[0298] 表4中的阈值表现得高于第3部分示例中的阈值。值得注意的是,该示例不包括遍历-平均MCS参数作为可观察量,这假定地用于驱动QoE更接近99%快乐用户的目标。表4中第3列中的数字代表LRM MCS指导以对瞬时MCS的偏移形式给出的潜在指示,无线电节点否则(在没有ESM指导的情况下)选择该指示。“+2”表示相对于状态转换图中标称位置的星座大小向上移动,该标称位置否则会被选择,而“+1”表示向右移动,“0”表示保持当前状态,等等。应当理解,这些值仅仅是示例性的并且可以选择其他值。例如,第3列中较大的值可以用于促进状态图中更激进的移动(例如,超出相邻框)。这种特定类型的优化相对于无线电节点在没有指导的情况下会做的事情,并且实际上使用和改进了无线电节点在MCS上针对特定信道和干扰的初始设计时模型。

[0299] 5. 一些ESM结果和建议

[0300] 到目前为止,ESM优化过程已经使用相对简单的示例来说明本公开的各种概念。在实践中,部署系统的设置和信息传输应该设计良好,并包含基于数据的经验。实际的可观察量、学习阈值、频谱选择/优化算法的精确选择、状态转换图中的状态删除、分布估计和其他考虑因素可能因部署而异。早期的ESM现场使用已经获得了优化的许多好处。一个重要的领域是QoE对QoS。第5.1小节介绍了一些显示QoE估计对实际汇总客户数据的现场结果。针对

各种地理区域示出了一些优化好处。第5.2小节讨论了可以被合理指定的无线电节点和LRM之间的逻辑接口。第5.3小节处理了同步假设并考虑大量天线。

[0301] 应注意,本文中的实验结果和现场结果是通过说明的方式提供的,并且是在使用一个或多个特定实施例的特定条件下执行的;因此,这些实验及其结果均不应用于限制本专利文献的公开范围。

#### [0302] 5.1 QoE/QoS相关性和遍历性示例

[0303] 第4.1节的关于稳定性的简化示例表明,  $LLR_{QoE}$  具有中间范围,例如好、差 (poor) 和很差 (bad)。图10图示了与具有投诉呼叫的连接和需要分派以进行维修的连接的两个QoE原始数据输入的ESM现场诊断相关性。这些现场结果用于订阅互联网服务的数百万客户,其中,将Wi-Fi作为最后一个链路,并且在训练阶段后可以获得这些客户的QoE数据。因此,图10中的数据不是训练数据,而是衡量QoE估计的真实准确度。包括分组错误、重新训练计数和数据速率变化的QoS参数被报告给LRM,并且然后用示出的3个范围计算  $LLR_{QoE}$ : 好的QoE、差的QoE和很差的QoE。如图10所示,基于训练的预测与新数据的相关性很好,因为LRM声明很差连接与大部分呼叫和分派强烈相关。同样,LRM声明好连接对应于相对低的呼叫和分派事件。一旦建立了相关性,就可以引入MCS参数选择的附加可观察量,以进一步提高很差QoE (不稳定)的总数,如图9的ESM过程所示。

[0304] 图11图示了使用本公开的实施例的不同全局区域中的ESM QoE改进结果。示出的是相对简单的基于ESM的系统(例如,状态转换图中的大约10-20个状态)的现场结果,这些系统用于更改在所列国家/地区拥有数十万至数百万客户的大型互联网服务提供商的MCS参数。在这些系统中,不同的参数是码率(两种选择大致接近3/4和9/10)、功率裕度、以及与星座大小相等同的参数的数据率组合。不同级别的改进值得一些解释。英国和法国的互联网服务市场竞争激烈,价格低廉,并且服务提供商提供更高的速度来留住客户。这些国家的互联网连接速度通常会看到MCS和数据速率参数的激进设置。通过隔离那些QoE差的客户(如图11所示),并且然后针对他们进行优化,ESM改进了否则过于保守的设计,而这些设计先前已经应用了应对无处不在的、过于严格的最坏情况频谱和MCS选择。因此,ESM提供了更具竞争力的互联网服务提供。美国的市场竞争较弱(互联网加Wi-Fi),价格较高,并且因此互联网服务提供商的速度尝试实践不那么激进。因此,发生的增益较少(尽管平均连接速度低于具有激进速度尝试的国家)。对于无线LTE服务,可能会观察到不同的国家订购,但增益范围可以是可比较的。图11中列出的国家可能竞争较弱,并且还提供不那么占用带宽的服务,或两者。

[0305] 图12描绘了使用本公开的实施例的吞吐量的简单QoS度量(定义为在一段时间内实际传送的用户数据量)。如图所示,与无ESM(基线)相比,ESM吞吐量增加了现场结果(优化)。在此示例中,系统主要使用来自领先制造商的IEEE 802.11ac组件,该制造商以出色的设计、更多的天线、所宣传的速度以及其所售RRM方法的专业知识为优势。这个基线802.11ac系统没有ESM,并显示了在超过数十万客户上的平均速度分布(由来自Wi-Fi接入点的光纤回程连接供电,使得没有“慢铜”限制吞吐量。请注意,这些吞吐量通常远低于通常为Wi-Fi连接宣传的速度)。优化后的系统使用了强加在系统上的简化的第1阶段ESM的早期形式。低吞吐量往往与差的QoE相关,并且突出显示的区域显示这种非常低的吞吐量数量减少了3倍以上(并且对应地,在整个部署中向更高的平均速度转换)。

## [0306] 5.2 ESM应用接口的迁移路径

[0307] 第5.1小节引用了无线设备的“ESM兼容”管理接口(有时称为“应用程序接口”)的问题。每个ESM阶段都需要来自无线电节点的越来越多的信息(并且可能会向其提供更多的信息)以及默认地来自/去往其对向设备。本小节列举了一些信息流,以供可能考虑提供此类ESM兼容接口的标准组、论坛或制造商考虑。

[0308] 这里使用索引 $k$ 来表示时间观察间隔。去往/来自LRM的信息因此可以通过 $k$ 与观察间隔相关联。示例性间隔可以是15分钟、5分钟或30秒。无线电节点的时间戳可能伴随着从无线电节点到LRM的信息流。这应该是使用了相关联的传输能量 $\varepsilon_{u,x}(k)$ 、 $g_{u,x}(k)$ 以及对应的MCS( $k$ )的第一次传输的绝对 $k$ 索引。对于第1阶段和第2阶段ESM,该时刻将是与参数和此类传输的以符号为单位的持续时间相对应的分组数据传输的开始。对于第3阶段,这是就对应的已建立的公共符号时钟而言的。第1阶段和第2阶段不需要公共符号时钟的绝对精度,并且漂移(drift)或变化体现在分布 $p_g$ 的变化中。

## [0309] 5.2.1流向LRM

[0310] 在实施例中,对于 $\varepsilon_{u,x}(k)$ ,对于每个使用的频带 $X$ 和用户 $u$ ,无线电节点可以报告功率谱密度(那些未报告的可以假设为未使用或0)。例如,单信道20MHz中17dBm的发射功率对应于 $17-73=-56$ dBm/Hz的功率谱密度。如果相同的功率相等地分布到两个20MHz宽的信道,则报告的能量 $\varepsilon_{u,x}(k)=-59$ dBm/Hz。如果在同一20MHz信道上相等地使用4个天线(具有4个空间流),则每个天线的数量将为-62dBm/Hz。这些数量适用于LTE和Wi-Fi二者。发射功率的合理范围可能取从LTE系统中的高达-30dBm/Hz到Wi-Fi中的可能低至-93dBm/Hz的范围(其中,任何较小的值都会导致没有报告,并且因此在该频带中发射“0”能量),以0.5或1dB为步长。如果已知(因为旁瓣能量可能不等于零),则好的ESM传输报告可能包括滤波后的相邻频带中的能量。

[0311] 假定地,该发射功率将最终将由ESM控制,但它也应该被报告,因为ESM指导可能被忽略(或需要相对于发布的指导进行校准)。

[0312] 该参数 $g_{u,x}(k)$ 可能是最具挑战性的,因为目前的系统没有报告它,尽管它本质上是技术文件中被充分引用的SINR(信号与干扰和噪声比),被归一化为统一发射功率。然而,例如LTE系统确实报告了称为RSRQ(参考信号接收质量)的参数,该参数可用于计算

$$[0313] \quad g_{u,x} = \frac{RSRQ_{u,x}}{1 - RSRQ_{u,x}} \quad (\text{等式 } 64)$$

[0314] 对于特定于无线电节点(颜色)并由接收器在训练序列期间测量的某些接收训练信号(或对于LTE中的插入的导频/参考信号),可以使用LTE的RSRP(参考信号接收功率)信道输出信号功率推导出RSRQ。然后RSRQ是它与接收到的总功率或RSSI(接收信号强度指示器)的比率。Wi-Fi看起来没有报告这个量(假定地是因为它的值可能会间接揭示制造商的专有设计选择),尽管它在内部以某种形式对所有系统都是必要的。如果代码已知,则LRM可以从报告的MCS值中学习或推断它,但报告可能被认为更安全。可以设想,对 $SINR_{u,x}(k)$ (以及 $\varepsilon_{u,x}(k)$ )的Wi-Fi的未来报告将被利用,因为它可以使LRM能够直接计算 $g_{u,x}(k)$ 。

[0315] 通常包括由各种标准规定的有限数量的选项的已知MCS参数可以在感兴趣的无线系统中交换并且报告给LRM。

[0316] 第3阶段下行链路传输要求每个无线电节点使用用于训练和/或参考/导频的已知传输分组来测量来自其他无线电节点的干扰。在实施例中,无线电节点和相关联的设备支持这样的测量并且将结果报告为测量的增益/相位信道系数(对于该设备处的单个天线) $h_u$ 的复矢量。优选地,当相关无线电节点静默时进行测量。在这种情况下,今天用于测量其自身的这种复矢量(相同颜色)的相同方法可以用于不同的颜色。然后,该值直接从测量设备报告给LRM,或者通过无线电节点间接报告,并且然后报告给LRM。第3阶段上行链路不需要报告系数。

#### [0317] 5.2.2来自LRM的流

[0318] 在实施例中,LRM的指导函数可以使用时间索引,例如,对于任何指导或指导的改变的第一次实施和之后的实施。在实施例中,索引可以是与在流向LRM的流中使用的索引和分辨率相同的索引和分辨率。

[0319] 能量的功能规范可以在第1阶段IW中简化为每个频带的水位规范,如果假设MCS参数也同时被指定,则为常数 $K_u$ 。这可以简化ESM系统的实施方式。对于发送到无线电节点的每个用户,第2阶段可以使用能量的表格规范作为 $\epsilon_{g,x}$ 。在实施例中,本地测量的信道增益(例如,通过等式63和等式64在本地计算)可以用作表的索引(在小节3.2中显示为大小M)。这些可以对应于要用于计算概率分布 $p_g$ 的增益范围的分区数。第2.4.1小节建议了一个这样的范围。

[0320] 在实施例中,MCS参数可以具有由g索引的类似表格,但是在第4.2小节中描述的相对状态机偏移可能是实现相同规范的更简单的方式,并且使其也相对于无线电节点及其客户端设备的本地实践。

[0321] 在实施例中,在上行链路情况下,第3阶段ESM可能需要向上行链路无线电节点接收器的指示:在标称内部QR分解(或预编码器的确定)中第一、第二、第三处理哪个颜色其他节点用户。注意,这不是第3阶段的LRM所要求的,但可以用于能量分配指导,例如,在具有混合ESM阶段的系统中,或在ESM第3阶段矢量化消除不完美的情况下。第3阶段ESM下行链路需要相同的优先化(prioritization)和指示,但在实施例中,可以基于所提供的 $h_u$ 。

#### [0322] 5.3同步实施例

[0323] 第3阶段ESM需要一个公共符号时钟。虽然OFDM系统中几个样本的用户间相移(及其“保护间隔”)可能不会导致干扰过度增加,但符号频率应该是通用且准确的。通用时钟在相对静止的环境中特别有用(例如,当用户没有移动或他们的移动相对慢时)。在这些情况下,第3阶段是可能的。如果没有公共时钟,第1阶段或第2阶段是可行的。因为LRM不能是公共时钟的源,所以在实施例中,兼容第3阶段ESM的无线电节点可以被设计成适应Wi-Fi中的符号时钟。

[0324] 在实施例中,用于建立Wi-Fi公共时钟的过程可以包括兼容第3阶段ESM的无线电,其可以被锁相到公共符号时钟,例如用于传输,并且以其他方式静默以避免产生或感测干扰。在实施例中,能够进行冲突检测的无线电节点(Wi-Fi)可以“先看再说”,并且不是等待随机的时间段,而是节点可以继续接收以锁相到节点所能感测的最大干扰。该无线电节点然后可以在相同的符号时钟上进行传输(例如,以能量或对应地观察到陷波/空值)。反过来,随后有流量(traffic)的其他无线电节点可以遵循类似的相同过程。在实施例中,来自第一无线电节点的隐藏无线电节点最终可以同步到相同的符号时钟。任何非ESM无线电节

点都会通过测量的信道增益影响自己,并引导指导以适应该干扰。在没有发生同步的实施例中,性能将回退到第2阶段、第1阶段的性能,或者甚至是现有冲突检测系统的性能。

[0325] 图13描绘了根据本公开的实施例的包括多个接入点的无线LAN网络。在实施例中,干扰源于相邻的无线通信系统,其可以调整(adapt)不同信道处的能量和比特加载,或者可以调整包括波束成形模式的天线配置。如图13,AP1的能量和比特加载或天线配置的变化可能会影响AP3的 $g_{geo}$ ,因为AP3在AP1的通信范围内,反之亦然。一旦AP3获悉AP1、AP3的能量和比特加载或天线配置的变化,它就可以更新其自己的比特和能量负载。需要说明的是,能量和比特加载包括不加载能量到某个频道的场景;因此,它包括频道选择或指派。在实施例中,以下步骤可以优化AP的能量和比特分配:

[0326] 1. AP1计算 $g_{geo,k,m}$ 和最佳能量和比特加载,同时将来自所有其他AP的干扰视为干扰。在实施例中,AP1可以针对k和m的不同组合计算 $g_{geo,k,m}$ ;计算最佳能量和比特加载;并选择使传输速率之和最大或使传输功率之和最小以达到最小速率的组合。需要注意的是,不同的天线配置(包括不同的波束成形模式)可以用于不同的m;因此,该步骤可以包括使用不同天线的性能评估。要注意的是,本步骤中可以使用上述任何一种能量和比特加载方法;

[0327] 2. AP1应用能量和比特加载;

[0328] 3. AP2执行步骤1和2,而其他AP不更新能量和比特加载;

[0329] 4. AP2应用能量和比特加载;

[0330] 5. 继续直到AP<sub>L</sub>完成步骤1和步骤2;以及

[0331] 6. 重复步骤1到步骤5,例如,直到达到收敛。

[0332] 这与迭代注水不同,因为该方法将每个由子载波组成的频道视为常规迭代注水的子载波。这种方法在此称为遍历迭代注水。在实施例中,遍历迭代注水可以使用几何SNR的概率分布而不是实际值并且再次利用中断概率目标来实现。在实施例中,为了加速收敛,可能需要Ap的至少一个子集就调整顺序(adaptation order)以及何时应用新调整的能量和比特加载达成一致。例如,一旦完成了步骤1,步骤2就可以应用调整的能量和比特加载。该信息可以在不同的Ap之间进行通信。在实施例中,每个连接的实际注水可以与其他系统并行发生并且聚合可以在所有现场配置上收敛(即使算法可能不遵循任何特定顺序,只要每个不是运行太快即可)。

[0333] 需要注意的是,在某些情况下,迭代注水可能会导致不期望的结果。例如,如果AP和STA相距较远,则可能将一个AP的数据速率设置为零。为了解决这个问题,在实施例中,可以对上述优化等式增加最小速率约束,其中最小速率约束为

$$\sum_{k,m} \log_2 \left( 1 + \frac{b_{k,m} E_{k,m} g_{geo,k,m}}{\Gamma} \right) \geq R_{min}, \text{ 并且其中 } R_{min} \text{ 代表AP的最小速率。}$$

[0334] 在实施例中,云服务器可以收集能量和比特分配优化信息,获得最优指派,并将结果分发给AP。在实施例中,以下步骤可以概括这种云服务器的操作:

[0335] 1. 云服务器可以收集AP列表,其是能量和比特加载优化的候选;

[0336] 2. 云服务器可以确定每个AP应该更新能量和比特加载的时间;

[0337] 3. 云服务器将能量和比特加载更新时间分发给AP;

[0338] 4. AP按照步骤3中的时间表操作迭代注水;以及

[0339] 5. 云服务器响应于接收到指示迭代注水收敛的消息而停止迭代。

[0340] 在实施例中,不是使用云服务器,而是主AP可以充当上述方法的协调器。在实施例中,每个单元可以简单地用某些频带开/关或与速率一起指定的功率自行注水。

[0341] 在实施例中,每个AP可以有任意数量的STA。为了优化能量和比特加载,可以定义以下变量:

[0342]  $i$ :AP  $i$ 的索引

[0343]  $j$ :STA  $j$ 的索引

[0344]  $g_{geo,(i,j),k,m}$ :AP  $i$ 和STA  $j$ 之间在带有选项 $m$ 的频道 $k$ 处的有效信道增益的几何平均值。需要注意的是,这可能会随着其他AP和STA改变能量加载而改变。

[0345]  $E_{(i,j),k,m}$ :为AP  $i$ 和STA  $j$ 之间在带有选项 $m$ 的频道 $k$ 的通信指派的能量。

[0346]  $b_{(i,j),k,m}$ :如果AP  $i$ 和STA  $j$ 使用带有选项 $m$ 的频道 $k$ ,则为1的布尔变量

[0347]  $E_{tot,i}$ :AP  $i$ 的总发射能量

[0348] 在实施例中,可以通过求解以下优化问题来找到最优能量和比特分布:

$$[0349] \quad \max_{E_{(i,j),k,m}, b_{(i,j),k,m}} \sum_{(i,j),k,m} \log_2 \left( 1 + \frac{b_{(i,j),k,m} E_{(i,j),k,m} g_{geo,(i,j),k,m}}{\Gamma} \right)$$

[0350] 受制条件

$$[0351] \quad \sum_{j,k,m} E_{(i,j),k,m} = E_{tot,i}, \text{对于任何 } i$$

$$[0352] \quad 0 \leq \sum_m b_{(i,j),k,m} \leq 1, \text{对于任意 } (i,j),k$$

$$[0353] \quad b_{(i,j),k,m} = 0 \text{ 或 } 1$$

[0354] 可以使用最速下降法获得该解。在某些情况下,可以期望每个频道只指派一个STA。这种解称为FDMA解。在实施例中,可以通过求解以下问题来获得最优的FDMA解:

$$[0355] \quad \max_{E_{(i,j),k,m}, b_{(i,j),k,m}} \sum_{(i,j),k,m} \log_2 \left( 1 + \frac{b_{(i,j),k,m} E_{(i,j),k,m} g_{geo,(i,j),k,m}}{\Gamma} \right)$$

[0356] 受制条件

$$[0357] \quad \sum_{j,k,m} E_{(i,j),k,m} = E_{tot,i}, \text{对于任何 } i$$

$$[0358] \quad 0 \leq \sum_{m,j} b_{(i,j),k,m} \leq 1, \text{对于任意 } i,k$$

$$[0359] \quad b_{(i,j),k,m} = 0 \text{ 或 } 1$$

[0360] 在实施例中,并非所有STA都在给定时间接收分组。由于很难获得所有STA的实时网络使用情况,因此可以假设基于历史数据已知每个STA处于活动状态的概率来导出最优能量和比特加载。将此概率记为 $P_{access,(i,j)}$ ,在实施例中,以下优化问题的解是最佳能量和比特加载:

$$[0361] \quad \max_{E_{(i,j),k,m}, b_{(i,j),k,m}} \sum_{(i,j),k,m} P_{access,(i,j)} \log_2 \left( 1 + \frac{b_{(i,j),k,m} E_{(i,j),k,m} g_{geo,(i,j),k,m}}{\Gamma} \right)$$

[0362] 受制条件

$$[0363] \quad \sum_{j,k,m} E_{(i,j),k,m} = E_{tot,i}, \text{对于任何 } i$$

$$[0364] \quad 0 \leq \sum_m b_{(i,j),k,m} \leq 1, \text{对于任意 } (i,j),k$$

$$[0365] \quad b_{(i,j),k,m} = 0 \text{ 或 } 1$$

[0366]  $P_{access,(i,j)}$ 可以是AP  $i$ 和STA  $j$ 的时变属性。因此,可以基于最近的网络使用模式来估计 $P_{access,(i,j)}$ 。在实施例中,该解决方案可以使用前述的遍历迭代注水方法来实现。

[0367] 在图13中,AP1和AP2由于它们之间的距离,而无法直接相互通信。但是,如果STA1

在AP2的通信范围内,则AP1和STA1之间的通信性能可能会受到AP2能量和比特加载的影响。因此,AP1和AP2可能不交换管理信息,例如何时应用新的能量和比特分配。因此,在实施例中,可以使用任意数量的方法来促进AP之间的适当管理信息交换。例如,

[0368] (1) 如果STA1可以在AP1和AP2之间中继信息,则AP1可以和AP2交换管理信息;

[0369] (2) AP1和AP2可以将管理信息发送给云服务器,该云服务器计算出最优的能量和比特加载表并将其分发给AP1和AP2;以及

[0370] (3) AP1和AP2可以使用专用通信方法,例如,其距离是传送有效载荷数据的通信方法的大约两倍。例如,如果无线信道的路径损耗指数为3.5,则如果无线通信的接收灵敏度提高10dB( $=3.5 \times 10 \log(2)$ ),则通信范围可能翻倍。因此,在一个实施例中,AP可以使用具有相对较长范围(或改进的接收器灵敏度)的专用通信方法来交换管理信息。此类型的系统可以采用以下一种或多种技术来实现:a) 低调制和编码速率(例如,具有1/6速率编码的BPSK);b) 通过使用具有已知低干扰能量的子载波。这包括CH1的较低频率子载波或CH13的最高频率子载波;c) 使用非相干调制,例如DPSK,以便放弃同步;以及d) 使用重传方案,例如ARQ和HARQ,例如chase组合、增量冗余等。

[0371] 通过使用上述技术来促进AP之间适当的管理信息交换,可以设计用于直接在AP之间交换管理信息的专用通信方法。此类型专用通信方法的范围加倍解决了相邻Ap之间可能的干扰问题。例如,如果使用这种方法AP1无法到达AP2,则说明AP2可能距离太远,而无法影响AP1的STA。

[0372] 注意,方法(1)-(3)可以同时使用,这取决于管理信息的类型。例如,在实施例中,方法(2)中的云管理服务器可以从云服务器管理的AP收集信息;而每个AP可以使用针对管理数据的专用通信方法,与其相邻的AP交换简单的信息,例如迭代注水顺序或最小比特率。对于后一种情况,只要AP彼此靠近,AP就可以从不受云服务器管理的AP接收管理数据。

[0373] 在实施例中,无线通信系统使用CSMA/CA随机接入。无线通信系统应监控信道并在检测到其他系统使用该信道时推迟传输。例如在无线局域网中,无线通信系统检测能量或无线局域网报头,以便检测另一个系统是否使用该信道。此检测的最小接收器灵敏度称为CCA阈值。当无线通信系统无法检测到任何其他用户时,它可以等待随机的持续时间,并且然后开始使用该信道。如果两个或更多个无线通信系统同时使用该信道,则系统传输的信号可能会因冲突而无法解码,这会导致无线通信系统在尝试接入该信道之前等待相对较长的时间。因此,冲突会显著降低整体系统性能。另一方面,推迟传输有时可能是不必要的,因为同时传输不会导致冲突。参考图13,即使当AP1在与STA1通信时,在实施例中,如果AP2通过降低发射功率或通过使用波束成形来减少对STA1/AP1的干扰,则AP2可以与STA3通信而不干扰STA1/AP1对。因此,即使来自STA1的接收功率大于CCA阈值,AP2仍应将分组传输到STA3,以便最大化整体吞吐量。在802.11ax中,这是通过使用BSS着色来实现的——假设具有相同BSS颜色的AP彼此远离;因此,如果接收到的干扰来自具有相同BSS颜色的AP,则AP可以应用更高的CCA阈值。在实施例中,可以由云服务器收集以下信息用于BSS颜色和CCA阈值优化:BSS颜色;当前的CCA阈值;接收器-发射器时间差(RTTD);到达角(AoA);AP之间或AP与相邻AP相关联的STA之间的链路质量;以及流量负载。

[0374] 在实施例中,可以通过执行以下一个或多个步骤来优化AP的BSS颜色和CCA阈值:

[0375] (1) 使用RTTD、AoA和链路质量,估计在每对AP同时使用信道时发生冲突的概率。需

要注意的是,RTTD和链路质量可以用于估计AP与AoA之间的距离以及估计AP的方向。在一个实施例中,概率可以随时间测量而不是被估计;

[0376] (2) 在具有相同BSS颜色的AP对中,找到冲突概率最大的AP对;

[0377] (3) 改变步骤2的AP对中的一个AP的BSS颜色;

[0378] (4) 改变天线配置(例如,波束成形)和/或降低步骤(2)的AP对中的至少一个AP的发射功率;

[0379] (5) 寻找与其他具有相同BSS颜色的AP的平均冲突概率相对较低的AP;

[0380] (6) 将CCA阈值增加一个常数,并且在实施例中,如果新的CCA阈值超过最大允许CCA阈值,则使用最大允许CCA阈值;

[0381] (7) 改变天线配置(例如,波束成形)和/或增加AP的发射功率;

[0382] (8) 在具有不同BSS颜色的AP对中,找出冲突概率最小的AP对;

[0383] (9) 改变该对的BSS颜色,使得两个AP使用相同的BSS颜色;

[0384] (10) 改变天线配置(例如,波束成形)和/或增加步骤(2)的AP对中的至少一个AP的发射功率;以及

[0385] (11) 迭代步骤(1)到(10)。

[0386] 在实施例中,上述信息可以在AP之间交换,并且由于没有实体知道BSS颜色或CCA阈值的全局分配,因此每个AP可以自行决定BSS颜色和CCA阈值。

[0387] 图14描绘了根据本公开的实施例的用于包括一个或多个Wi-Fi和/或LTE信道的无线通信系统的一般化随机接入。在实施例中,可以使用随机化时间、频道和空间的随机接入协议来最小化冲突概率,同时平衡不同频率和空间资源处的负载。当无线通信系统共享一个频道时,冲突的概率会增加,并且如果冲突概率高,则吞吐量劣化。在发生了冲突时,传统的CSMA/CA随机接入要求无线通信系统在接入信道之前等待更长的持续时间,而不是改变信道或天线系数。在实施例中,为了避免冲突,无线通信系统可以将频道改变为具有较少负载频率或空间信道的频道,或者改变天线系数以探索新的空间信道。通过改变频道,冲突中涉及的无线通信系统将使用不同的频道。通过改变天线系数,冲突中涉及的无线通信系统将改变干扰模式。在实施例中,无线通信系统之一在冲突时或当系统由于载波侦听而推迟信道接入时改变频道或天线系数。在实施例中,可以执行以下随机接入方案步骤中的一个或多个以避免吞吐量的指数劣化。

[0388] (1) AP计算 $g_{geo,k,m}$ ;

[0389] (2) AP选择一组频道作为候选组,如图14所示;

[0390] (3) AP选择候选组中的频道之一,并将 $T_{access}$ 设置为 $p_{access,initial}$ ,其中 $p_{access,initial}$ 是在第一次冲突时AP改变频道的概率。例如,在图14中,选择CH38作为随机接入的信道;

[0391] (4) AP采用侏儒CSMA/CA之类的常规随机接入来接入信道;

[0392] (5) 如果AP可以成功接入信道,则设置 $T_{access} = p_{access,initial}$ ,并且继续步骤4;

[0393] (6) 如果AP检测到冲突或者由于载波侦听推迟接入,则生成0到1之间的统一随机数,并且如果统一随机数小于等于 $T_{access}$ ,则继续步骤3。例如,在图14中,当在时间1检测到冲突时,AP更新信道为CH1;否则,增加 $T_{access}$ 并恢复步骤4。

[0394] 注意,可以同时使用多个信道,并且因此,可以同时操作多个随机接入过程。在实施例中,如果通信延时增加,则AP可以在STA侧检测到冲突。当改变频道时,AP应该向与AP相

关联的STA广播信道更改信息。为了便于这一操作，在实施例中，AP可以执行以下一个或多个步骤：

[0395] (1) 提前与STA共享AP未来将使用的频道顺序；

[0396] (2) 用信标间隔来协调信道变化。例如，利用使用当前频道的信标，宣布信道改变，并且然后切换到新的频率；以及

[0397] (3) AP/STA可能有多个收发器，并通过使用另一个预先调谐到新频道的收发器来切换频道。

[0398] 最后， $p_{\text{access,initial}}$  可以基于先前的信道更改是否成功进行更新。例如，如果先前的信道更改成功解决了由于载波侦听引起的冲突或推迟，则AP可以增加 $p_{\text{access,initial}}$ 。否则，AP可能会降低 $p_{\text{access,initial}}$ 。

[0399] 图15描绘了根据本公开的实施例的空间随机接入。在实施例中，可以在冲突或载波感测时使用不同的空间维度。图15中的AP1包括四个发射天线并且与STA12和STA11通信。在图15中，矩形1510的高度代表空间信道的  $\Gamma / g_{\text{geo}}$ ，而矩形1520的高度代表分配给空间信道的能量，其对应于  $K - \Gamma / g_{\text{geo}}$ 。在实施例中，根据注水，四个空间信道中的三个应当被并行使用以最大化或增加数据速率。每个空间信道可以具有去往和来自AP2或与AP2相关联的STA21的不同干扰模式。在实施例中，使用空间随机接入，AP1可以选择空间信道111与STA11通信并开始CSMA/CA。当AP1感测到载波或检测到冲突时，AP1可以切换到另一个空间信道112。其余的过程类似于频道随机接入。

[0400] 在实施例中，通过执行以下一个或多个步骤，云可以优化改变频率或空间信道的概率：

[0401] (1) AP可以向云发送候选频率/空间信道的列表和 $p_{\text{access,initial}}$ 。如果一个AP服务于多个站，则AP应该找到每个站点的列表。在实施例中，AP可以发送当前频率/空间信道的信道利用率；

[0402] (2) 云服务器可以基于从相邻AP收集到的信息来更新候选频率/空间信道的列表；

[0403] (3) 云服务器可以基于当前频率/空间信道的利用率来更新 $p_{\text{access,initial}}$ 。云服务器可以为不同的频率/空间信道指派不同的 $p_{\text{access,initial}}$ ；以及

[0404] (4) 云服务器可以将更新后的列表发送给AP。

[0405] 在实施例中，可以使用管理信道在AP之间共享改变频率或空间信道的概率。

[0406] 6. 一些结论

[0407] 各种实施例利用ESM的学习型无线网络的统计一致性来改进现有的行业朝向对低延时RRM控制的昂贵的集中边缘计算/反应发展。有利地，ESM可以通过将计算移动到云来减少对边缘RRM计算的需求。与未授权频谱(如Wi-Fi)中的冲突检测方法相比，ESM方法可能具有最大的性能优势，但它们也为更集中协调的系统(如LTE的4G/5G)提供了一些改进，例如，通过允许同时用户的人工智能维度重用。可以通过对管理接口的相对较小的调节并确保它们可用于适应不断增加的ESM增益的云/互联网服务器(即使在缓慢的控制路径上)，来适应越来越复杂的ESM阶段。ESM还为改善QoE提供了基础，并适应用户/设备在漫游时跨多个频带/区域的移动。随着无线网络的发展，ESM为仅低延时的管理方案提供了一种经济高效的替代方案。ESM还通过Wi-Fi 6和5G推动行业朝着高性能无线方向发展。

[0408] 在一个或多个实施例中，本专利文件的方面可针对一个或多个信息处理系统(或

计算系统),可包括一个或多个信息处理系统(或计算系统),或可在一个或多个信息处理系统(或计算系统)上实现。信息处理系统/计算系统可以包括可用于计算、运算、确定、分类、处理、发射、接收、检索、发起、路由、交换、存储、显示、通信、展示、检测、记录、复制、处理或利用任何形式的信息、情报或数据的任何工具或工具的集合。例如,计算系统可以是或可以包括个人计算机(例如,膝上型计算机)、平板计算机、移动设备(例如,个人数字助理(PDA)、智能电话等)、智能手表、服务器(例如,刀片服务器或机架服务器)、网络存储设备、相机或任何其他合适的设备,并且可能在尺寸、形状、性能、功能和价格方面有所不同。计算系统可以包括随机存取存储器(RAM)、一个或多个处理资源例如中央处理单元(CPU)或硬件或软件控制逻辑、ROM和/或其他类型的存储器。计算系统的附加组件可以包括一个或多个磁盘驱动器、一个或多个用于与外部设备以及各种输入和输出(I/O)设备通信的网络端口,例如键盘、鼠标、触摸屏和/或视频显示器。计算系统还可包括可操作以在各种硬件组件之间传输通信的一个或多个总线。

[0409] 图16描绘了根据本公开的实施例的信息处理系统(或计算系统)的简化框图。将理解的是,系统1600所示的功能可以操作以支持计算系统的各种实施例——尽管应当理解,计算系统可以被不同地配置并且包括不同的组件,包括具有如图16中所示的更少或更多的组件。

[0410] 如图16所示,计算系统1600包括一个或多个提供计算资源并控制计算机的中央处理单元(CPU)1601。CPU 1601可以用微处理器等来实现,并且还可以包括一个或多个图形处理单元(GPU)1619和/或用于数学计算的浮点协处理器。系统1600还可包括系统存储器1602,其可为随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)或两者的形式。

[0411] 还可以提供多个控制器和外围设备,如图16所示。输入控制器1603代表到各种输入设备1604的接口,例如键盘、鼠标、触摸屏和/或手写笔。计算系统1600还可以包括用于与一个或多个存储设备1608接口的存储控制器1607,每个存储设备1608包括诸如磁带或盘之类的存储介质,或者可以用于记录操作系统、实用程序和应用程序的指令程序的光学介质,它们可以包括实现本公开的各个方面的程序的实施例。存储设备1608也可用于存储根据本公开的已处理数据或待处理数据。系统1600还可以包括用于向显示设备1611提供接口的显示控制器1609,显示设备1611可以是阴极射线管(CRT)、薄膜晶体管(TFT)显示器、有机发光二极管、电致发光面板、等离子面板或其他类型的显示器。计算系统1600还可以包括用于一个或多个外围设备1606的一个或多个外围控制器或接口1605。外围设备的示例可以包括一个或多个打印机、扫描仪、输入设备、输出设备、传感器等。通信控制器1614可以与一个或多个通信设备1615接口,这使得系统1600能够通过包括因特网、云资源(例如,以太网云、以太网光纤信道(FCoE)/数据中心桥接(DCB)云等)、局域网(LAN)、广域网(WAN)、存储区域网(SAN)的各种网络中的任何一种网络连接到远程设备或通过任何合适的电磁载波信号(包括红外信号)连接到远程设备。

[0412] 在所示出的系统中,所有主要系统组件可以连接到总线1616,总线1616可以代表任何数量的物理总线。然而,各种系统组件可能彼此物理接近,也可能不彼此物理接近。例如,输入数据和/或输出数据可以从一个物理位置远程传输到另一个物理位置。此外,可以通过网络从远程位置(例如,服务器)访问实现本公开的各个方面的程序。此类数据和/或程序可以通过多种机器可读介质中的任一种来传送,包括但不限于:诸如硬盘、软盘和磁带之

类的磁介质；光介质，如CD-ROM和全息设备；磁光介质；以及专门配置为存储或存储和执行程序代码的硬件设备，例如专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑设备(PLD)、闪存设备以及ROM和RAM设备。

[0413] 本发明的各方面可以用用于一个或多个处理器或处理单元促使步骤被执行的指令编码在一个或多个非暂时性计算机可读介质上。应注意，一个或多个非暂时性计算机可读介质应包括易失性和非易失性存储器。应当注意，替代实现方式是可能的，包括硬件实现方式或软件/硬件实现方式。可以使用专用集成电路(ASIC)、可编程阵列、数字信号处理电路等来实现硬件实现的功能。因此，任何权利要求中的术语旨在涵盖软件和硬件实现方式。类似地，本文使用的术语“一个或多个计算机可读介质”包括其上包含指令程序的软件和/或硬件，或其组合。牢记这些实现替代方案，应当理解，附图和所附描述提供了本领域技术人员编写程序代码(即，软件)和/或制造电路(即，硬件)以执行所需的处理所需的功能信息。

[0414] 应当注意，本发明的实施例可以进一步涉及具有非暂时性、有形计算机可读介质的计算机产品，该介质上具有用于执行各种计算机实现的操作的计算机代码。介质和计算机代码可以是为了本发明的目的而专门设计和构建的那些，或者它们可以是相关领域技术人员已知或可用的类型。有形计算机可读介质的示例包括但不限于：磁介质，例如硬盘；光介质，如CD-ROM和全息设备；磁光介质；以及专门配置为存储或存储和执行程序代码的硬件设备，例如ASIC、可编程逻辑设备(PLD)、闪存设备以及ROM和RAM设备。计算机代码的示例包括机器代码(例如，由编译器生成)以及包含由计算机使用解释器执行的更高级别代码的文件。本发明的实施例可以全部或部分地实现为机器可执行指令，机器可执行指令可以在由处理设备执行的程序模块中。程序模块的示例包括库、程序、例程、对象、组件和数据结构。在分布式计算环境中，程序模块可以物理地位于本地、远程或两者的设置中。

[0415] 本领域技术人员将认识到没有计算系统或编程语言对于本发明的实践是关键。本领域技术人员还将认识到，上述多个元件可以在物理上和/或功能上分离成子模块或组合在一起。

[0416] 本领域技术人员将理解，前述示例和实施例是示例性的并且不限制本公开的范围。本领域技术人员在阅读说明书和研究附图后显而易见的所有置换、增强、等同物、组合和改进旨在包括在本公开的真实精神和范围内。还应当注意，任何权利要求的元素可以不同地布置，包括具有多个从属关系、配置和组合。

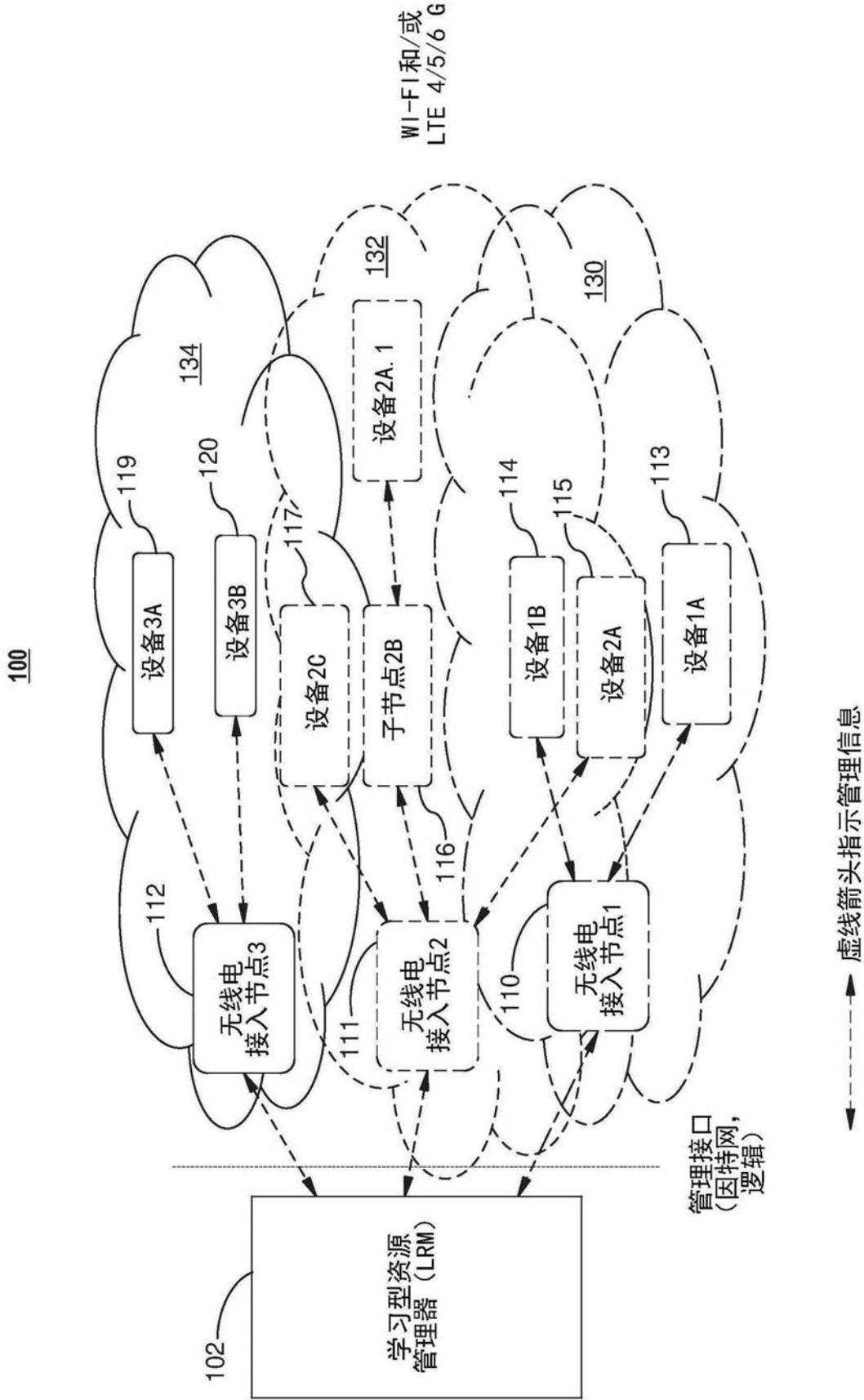


图1

200

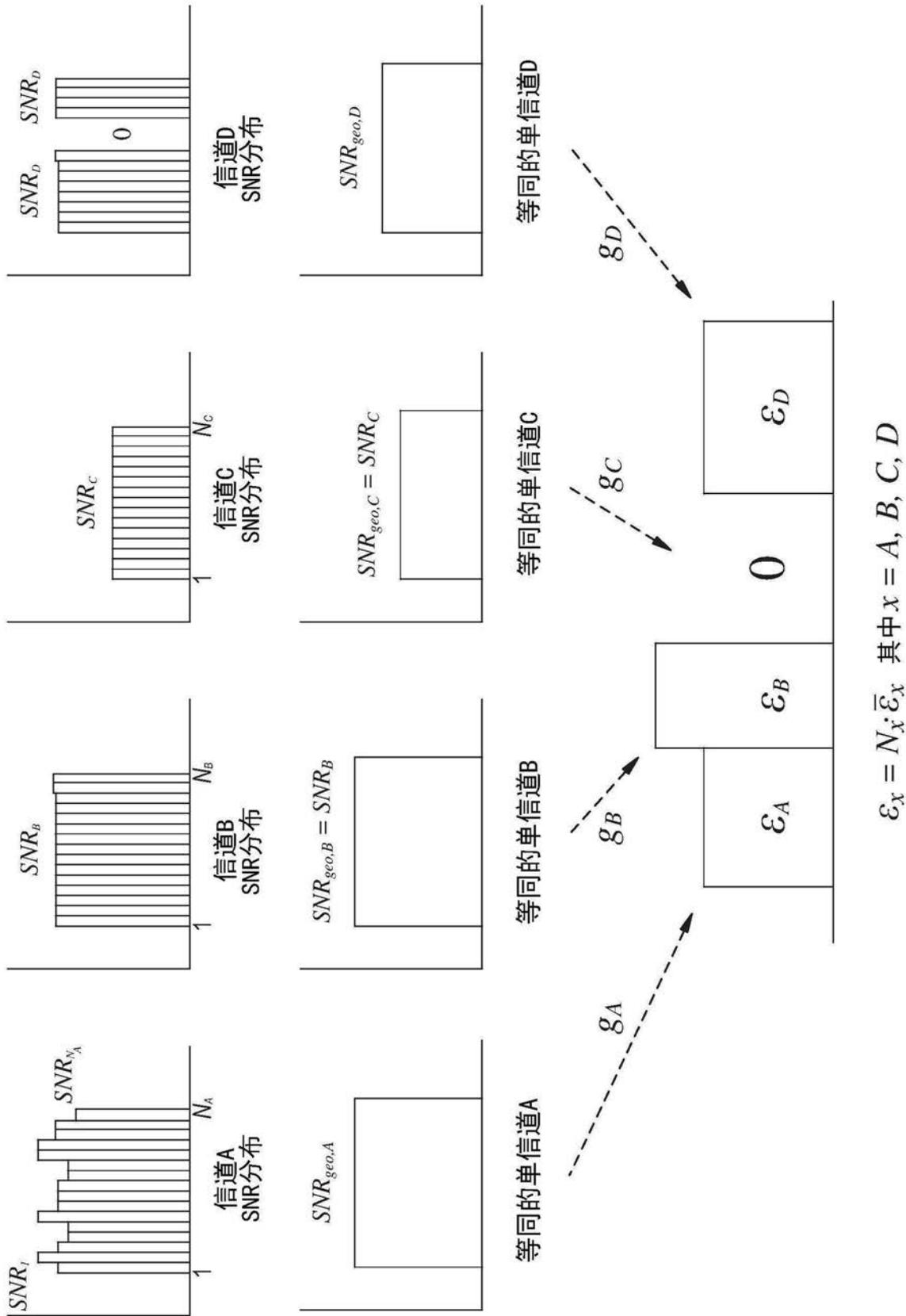


图2

300

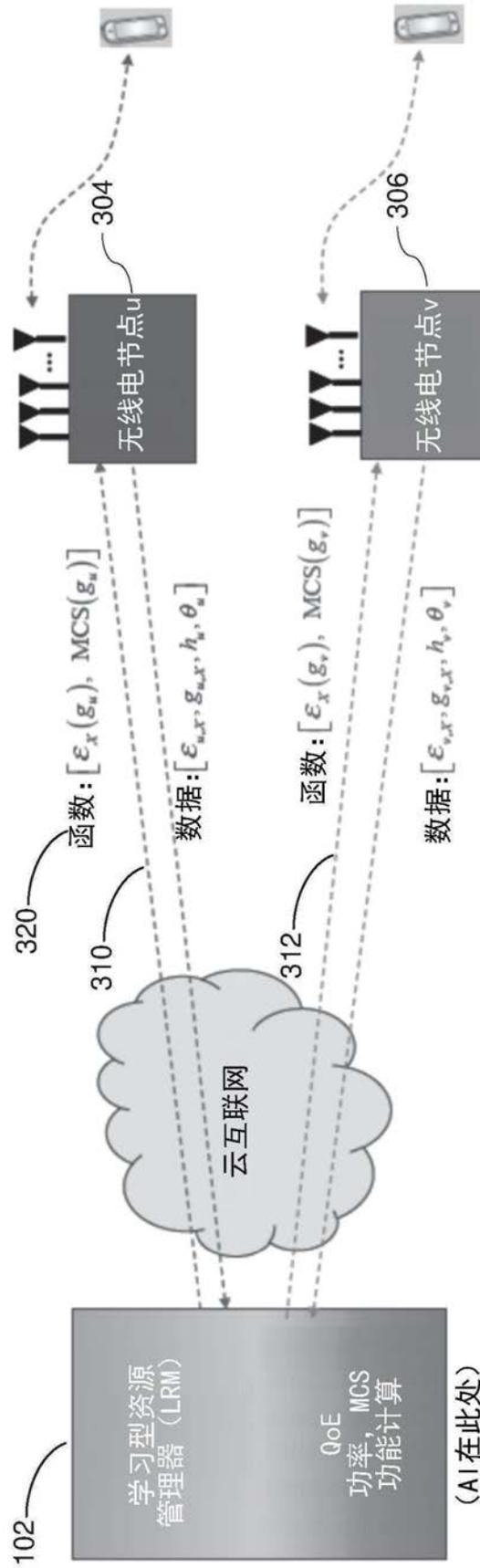


图3

400

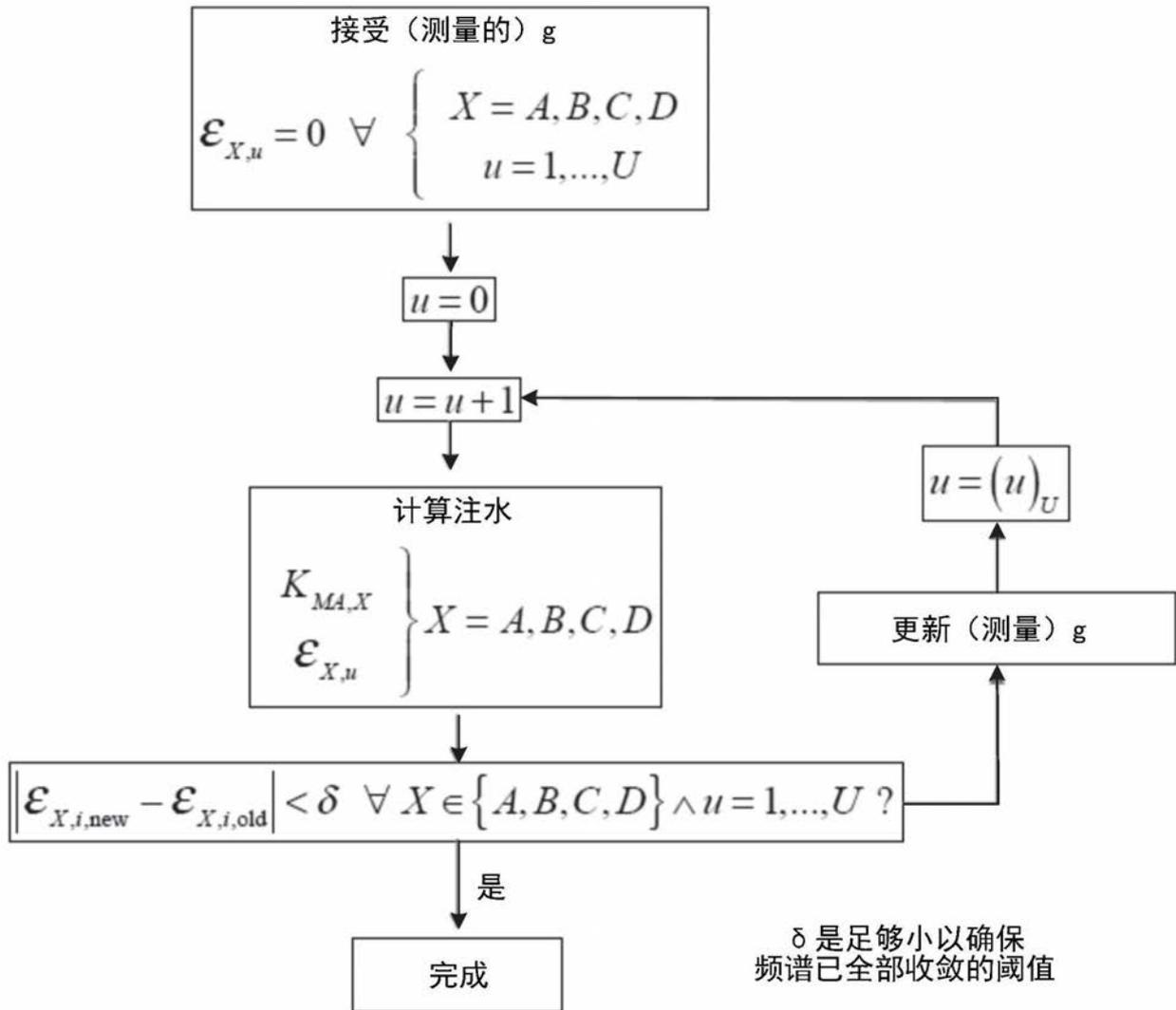


图4

500

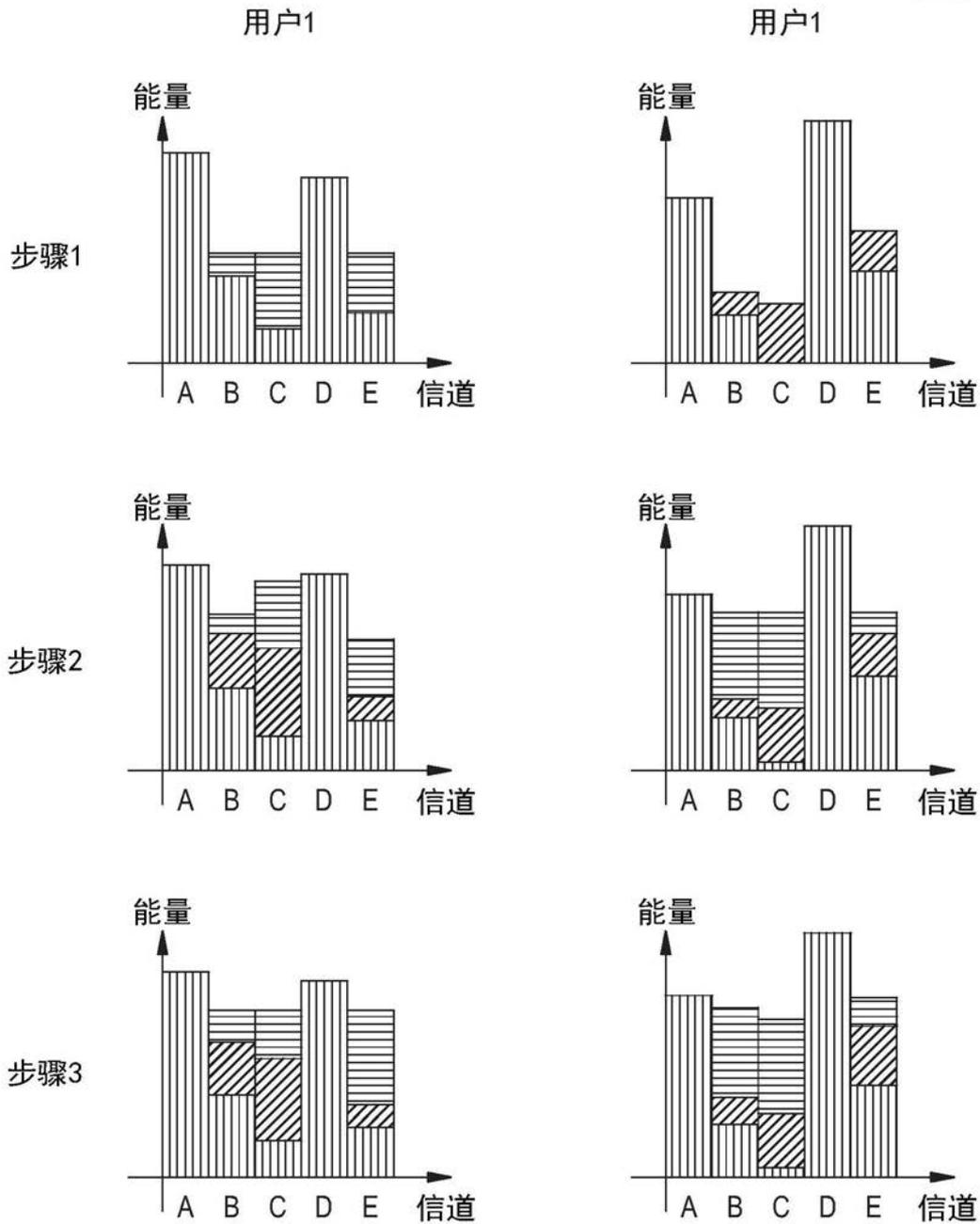
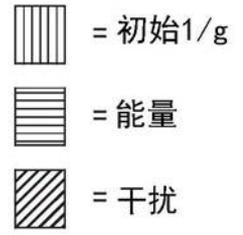


图5

600

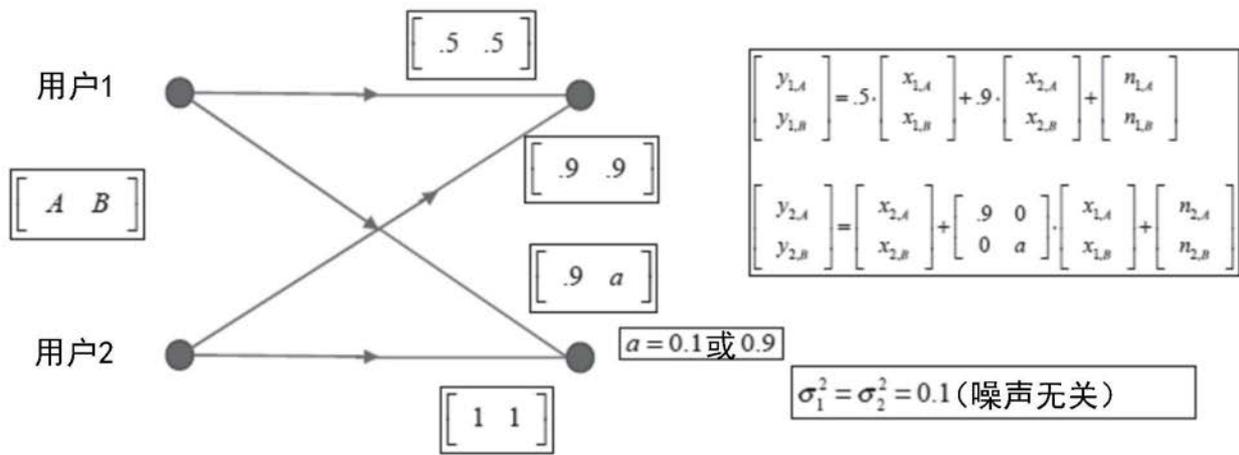


图6

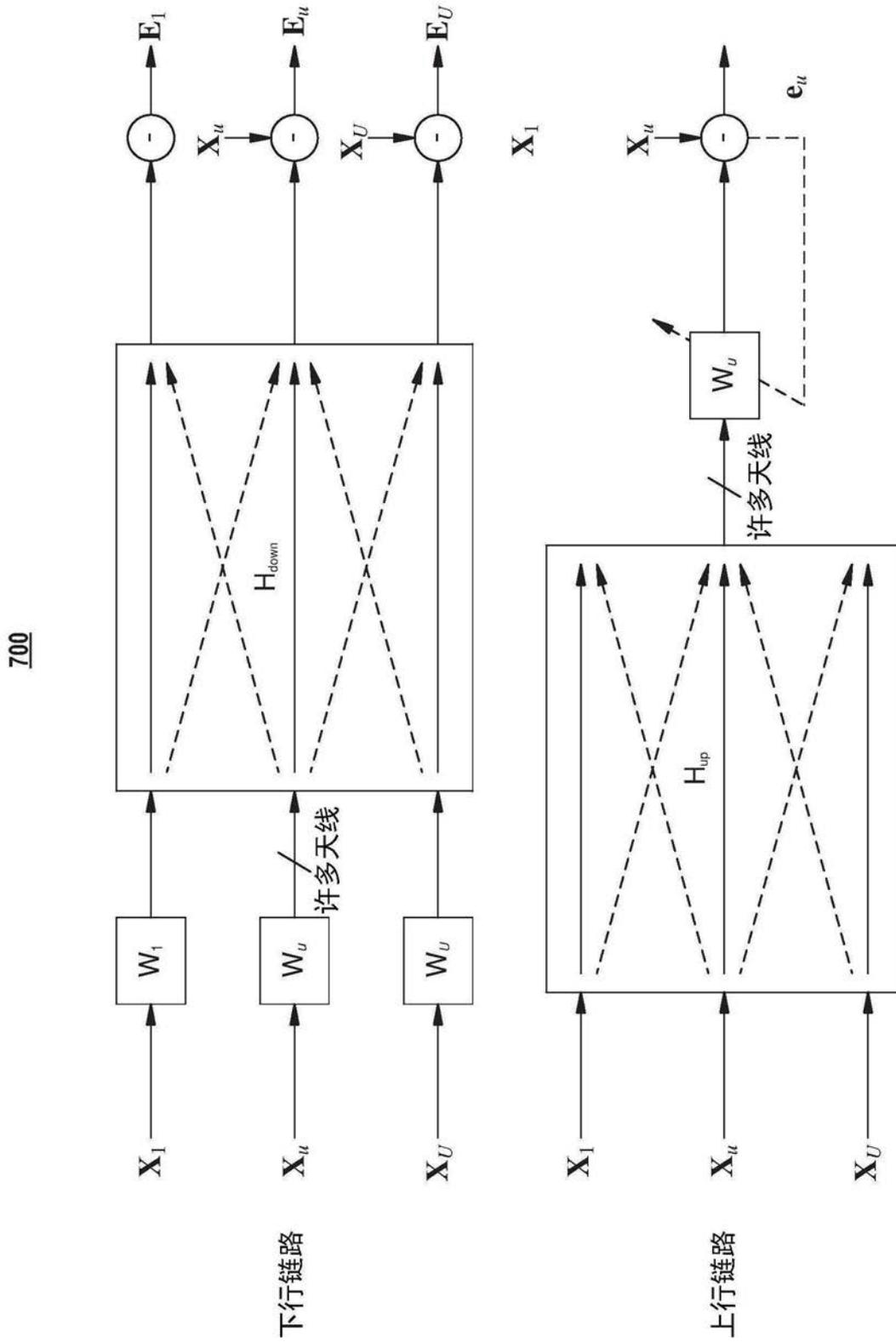


图7

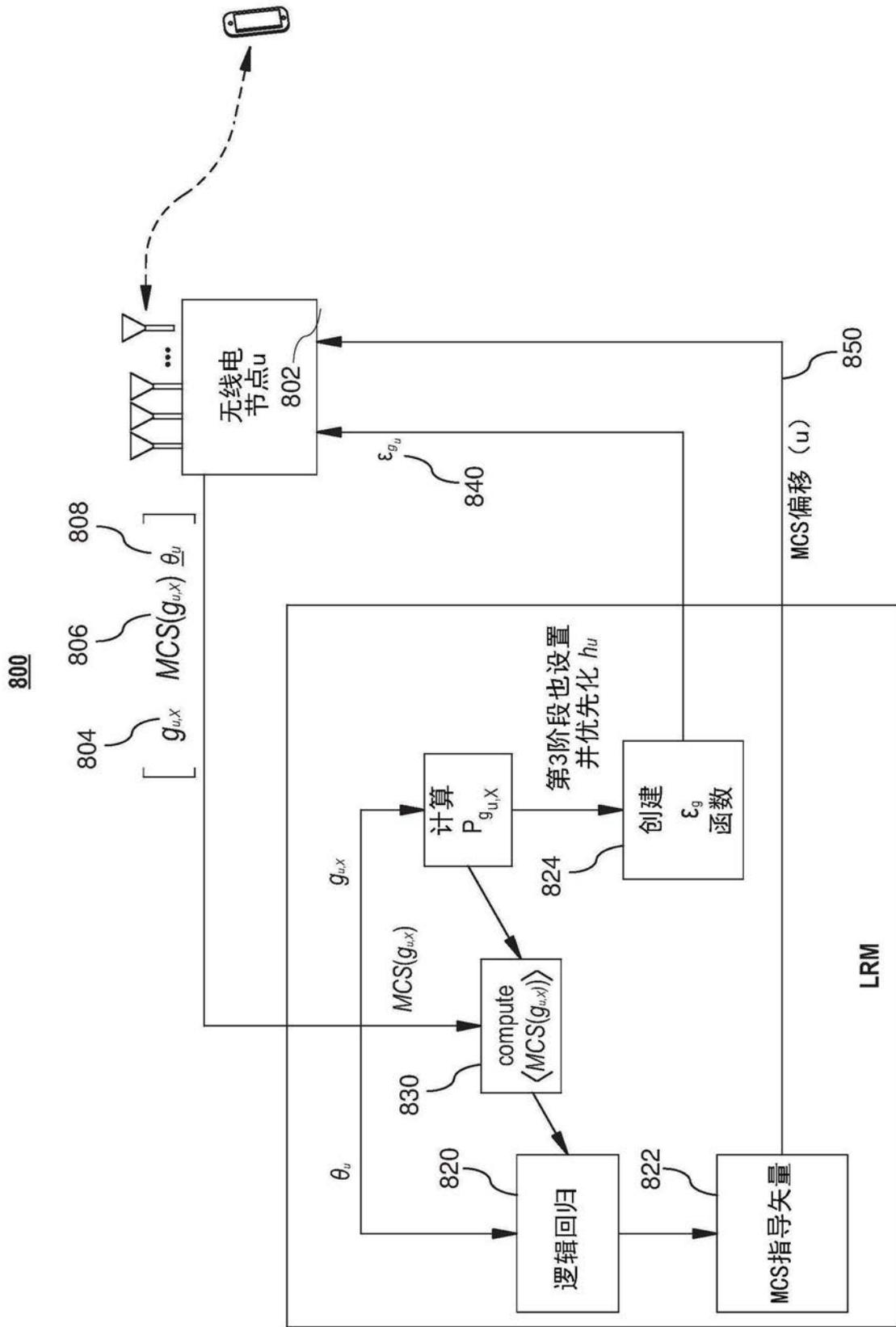


图8

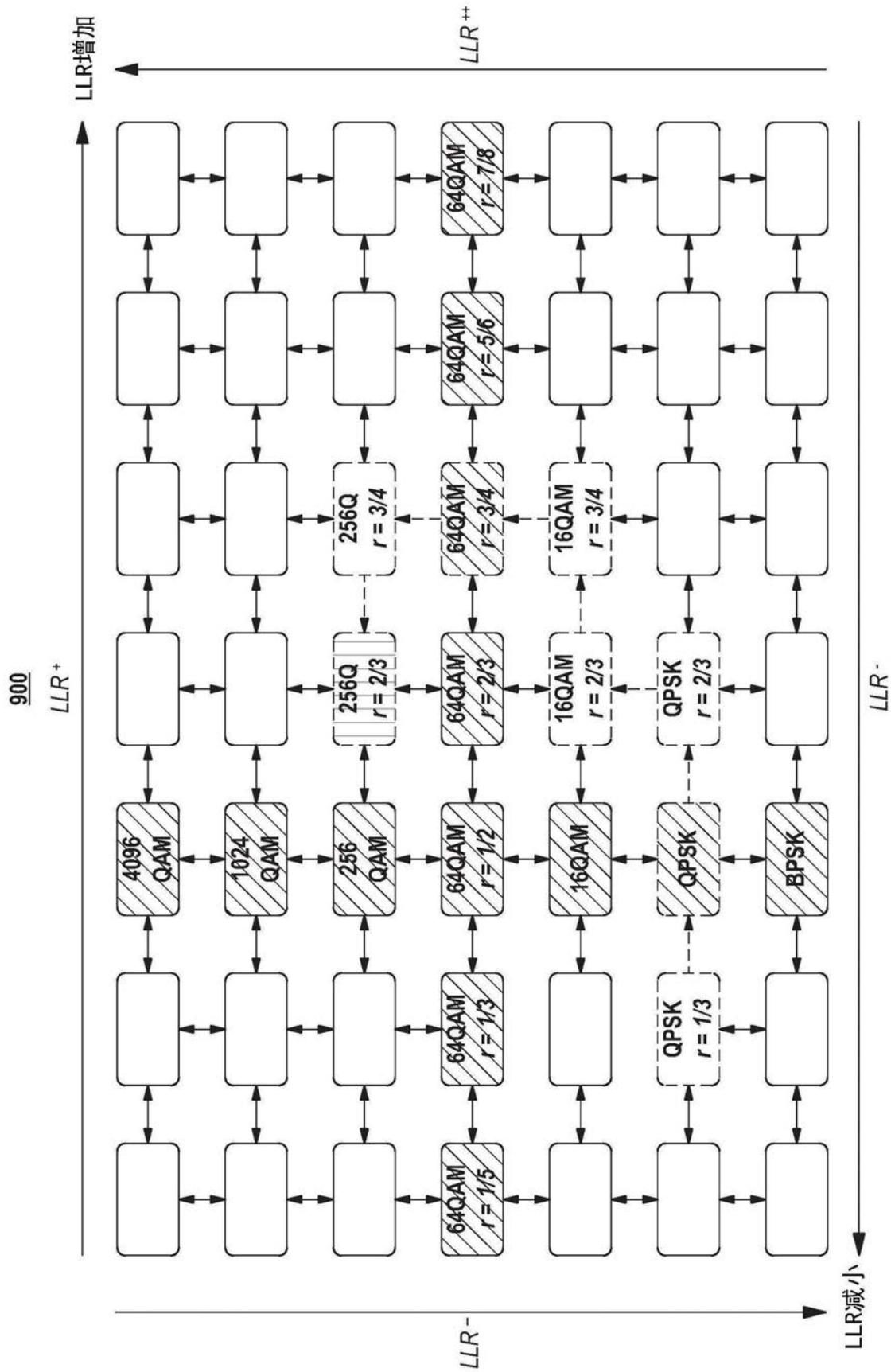


图9

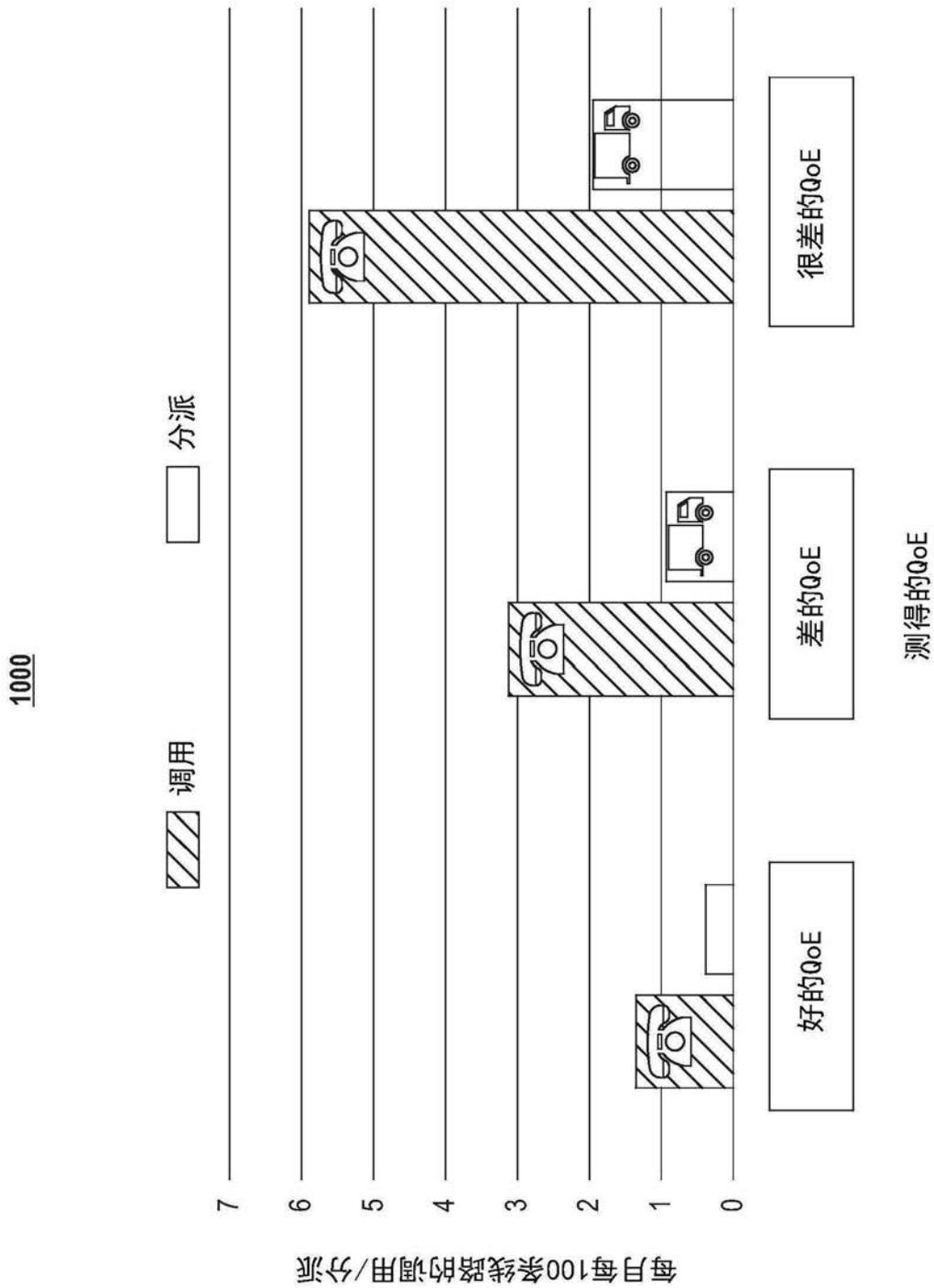


图10

1100

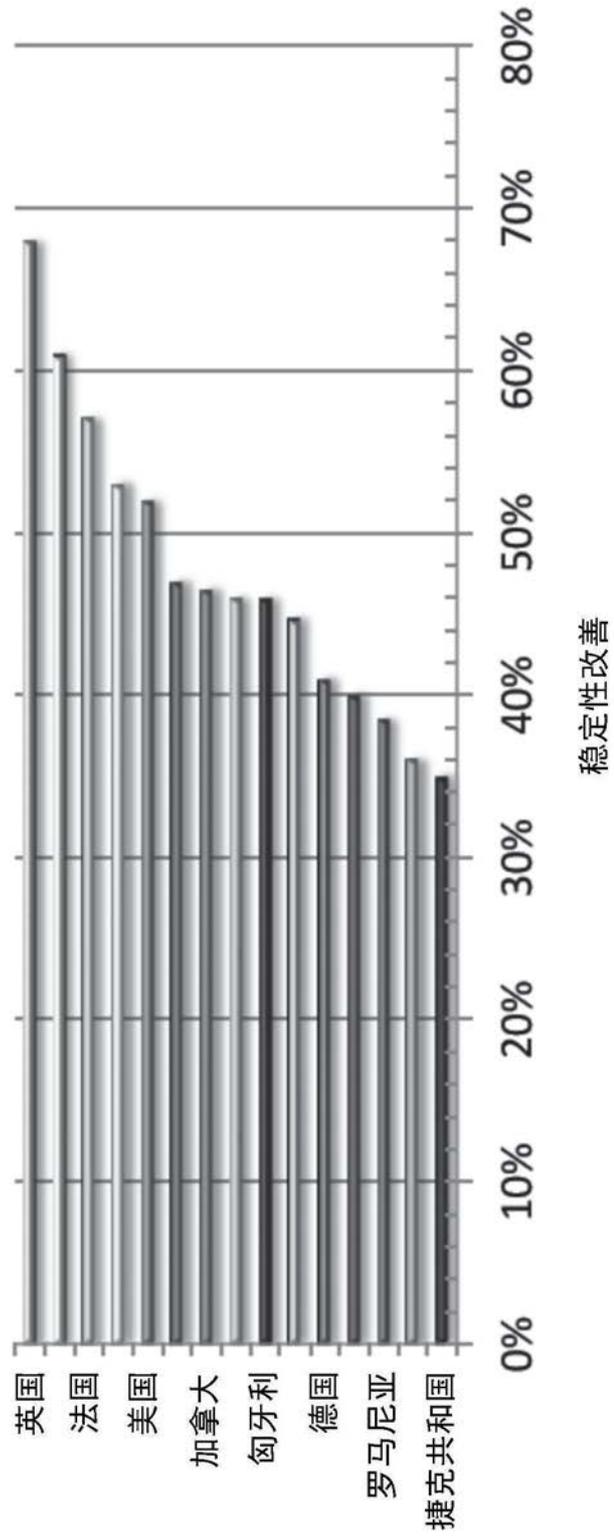


图11



图12

1300

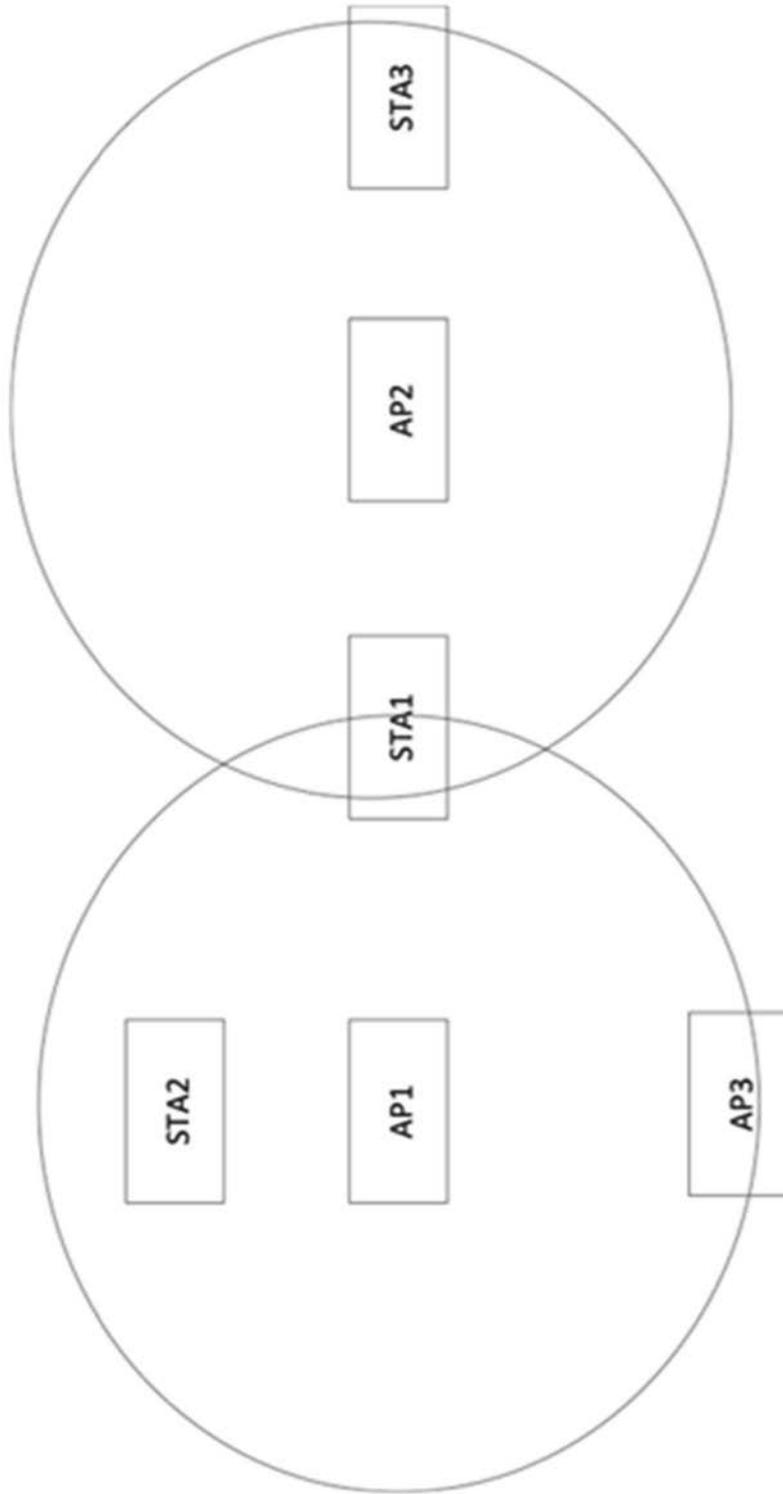
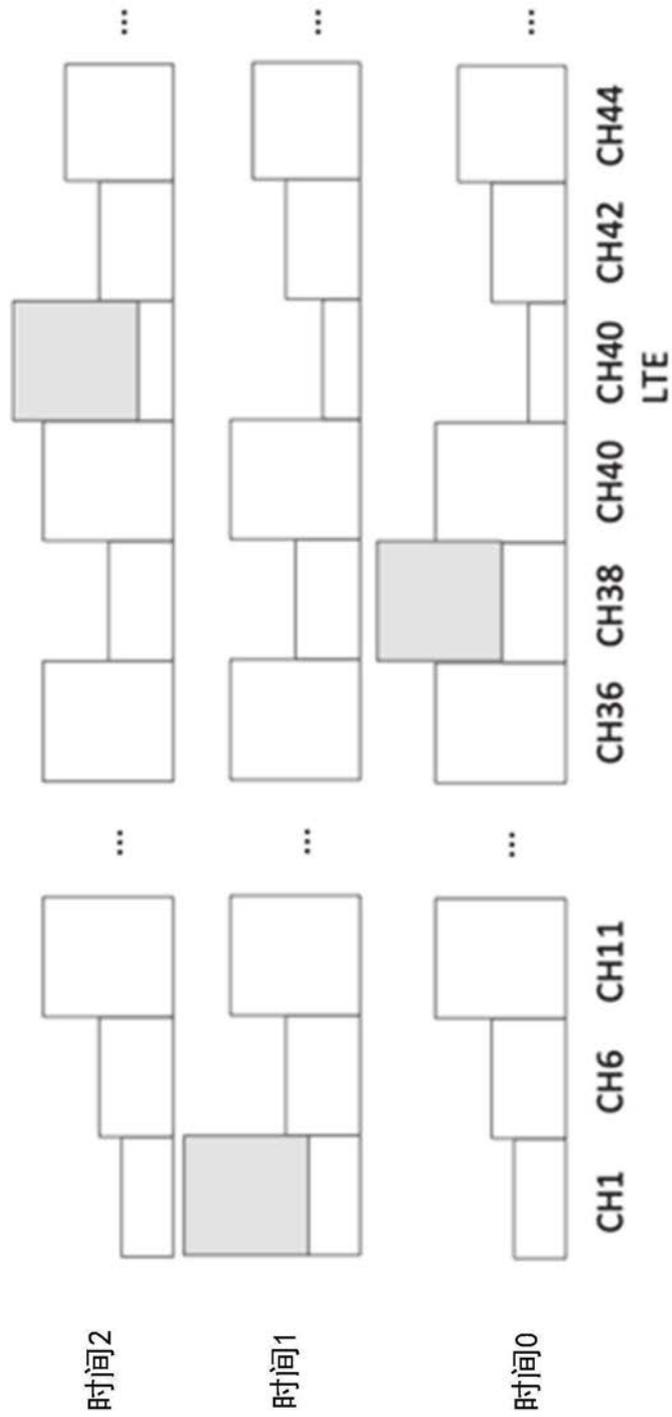


图13

1400



遍历随机接入

图14

1500

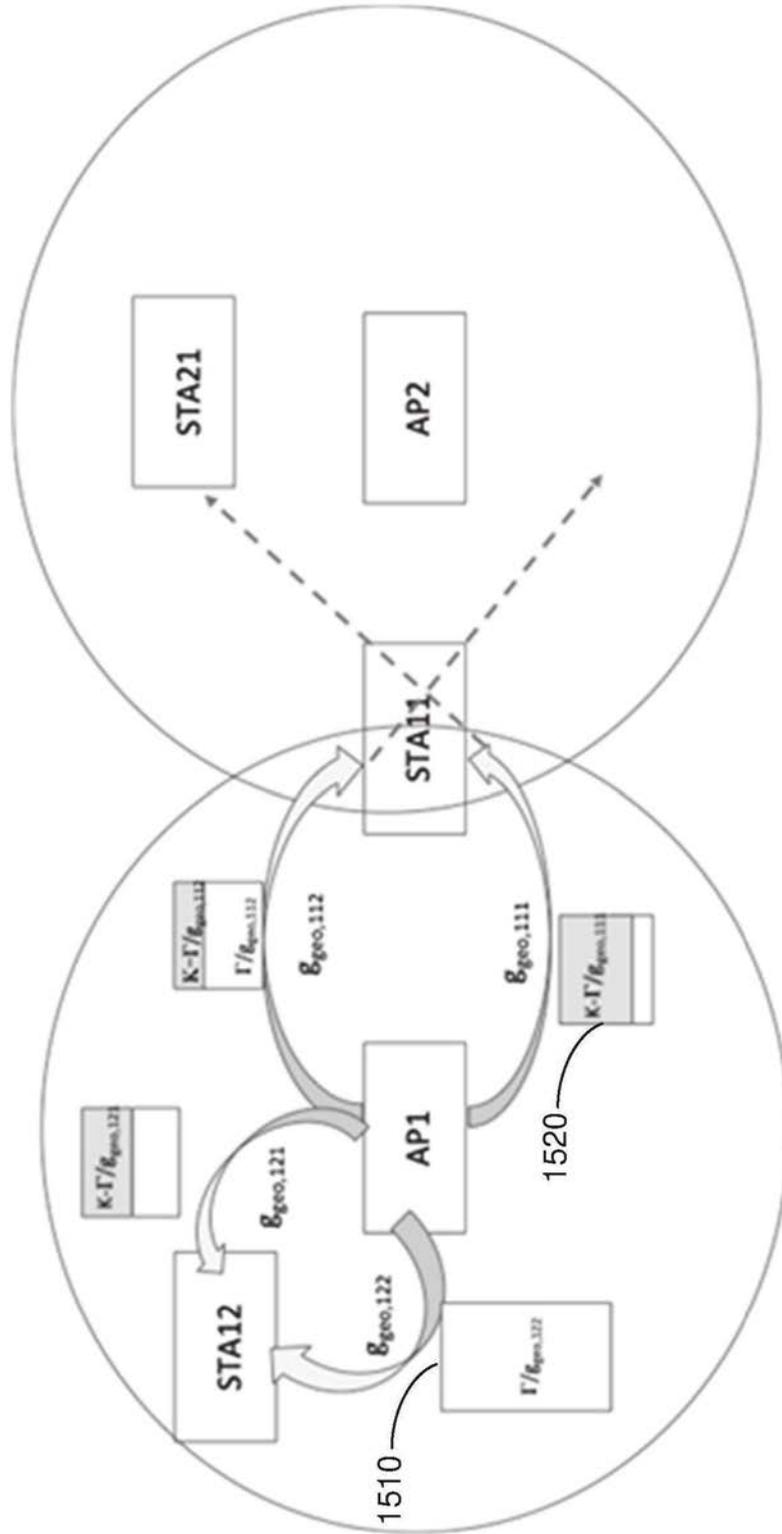


图15

1600

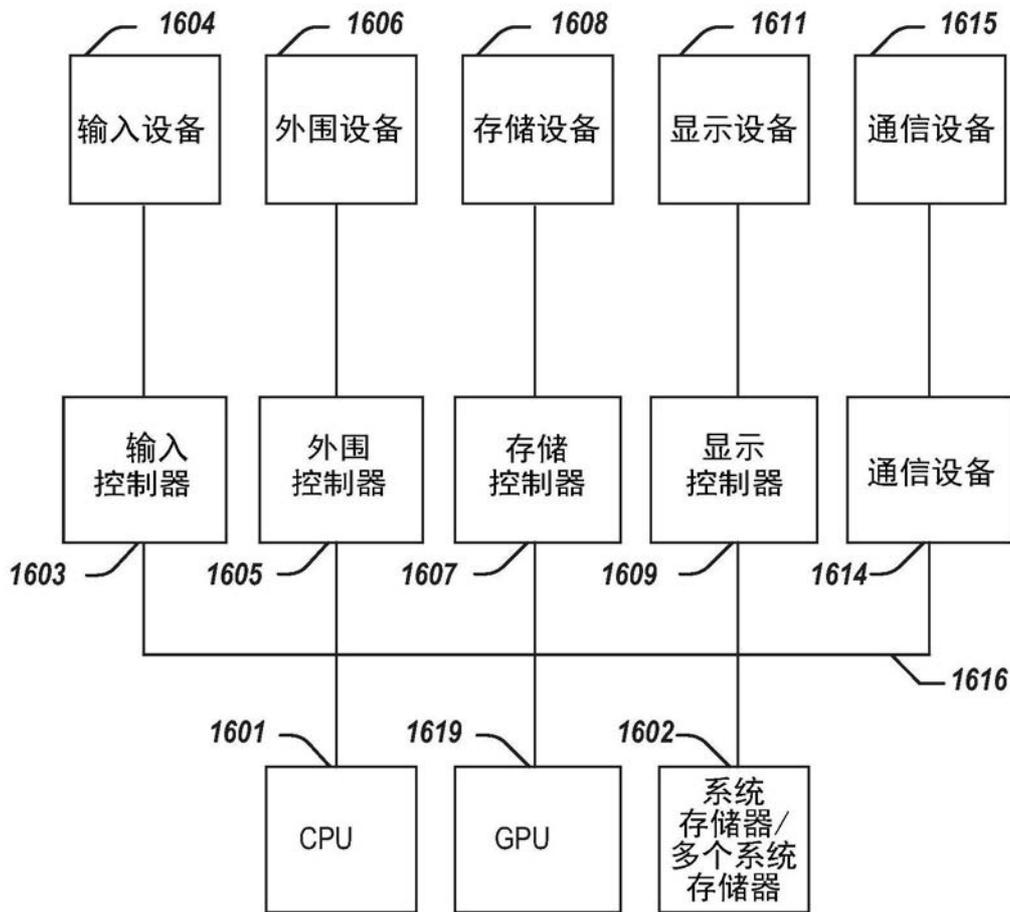


图16