



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104170273 B

(45)授权公告日 2017.07.25

(21)申请号 201380013654.1

H04B 7/0413(2017.01)

(22)申请日 2013.03.12

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104170273 A

CN 1288616 A, 2001.03.21,

CN 101160746 A, 2008.04.09,

CN 101677254 A, 2010.03.24,

(43)申请公布日 2014.11.26

US 2006234777 A1, 2006.10.19,

US 2008125047 A1, 2008.05.29,

US 7853294 B1, 2010.12.14,

(30)优先权数据

12305307.6 2012.03.15 EP

US 2004170219 A1, 2004.09.02,

WO 2009144074 A1, 2009.12.03,

US 7689171 B2, 2010.03.30,

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.09.11

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/054994 2013.03.12

Jun Zhou et al. Multiple Antennas
Selection for Linear Precoding MISOCognitive Radio.《Wireless Communications
and Networking Conference, 2009. WCNC
2009. IEEE》. 2009,

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/135692 EN 2013.09.19

Anand Prabhu Subramanian et
al. Topology Control Protocol Using
Sectorized Antennas in Dense 802.11

(73)专利权人 汤姆逊许可公司

地址 法国伊西莱穆利诺

Wireless Networks.《Network Protocols,
2009. ICNP 2009. 17th IEEE International
Conference on》. 2009, (续)

(72)发明人 T. 萨洛尼迪斯 T.H. 金

H. 伦德格伦

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

审查员 王超群

代理人 吕晓章

(51) Int. Cl.

H04B 7/06(2006.01)

H04B 7/08(2006.01)

权利要求书1页 说明书11页 附图11页

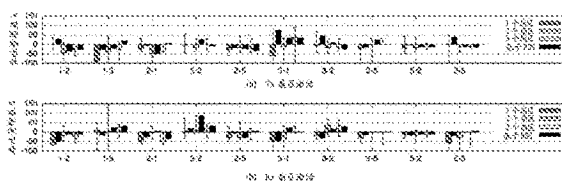
(54)发明名称

使用多扇区定向天线控制MIMO系统中无线
连接的方法和装置

(57)摘要

一种在使用扇区化定向天线的MIMO无线传
送系统中选择用于传送和/或接收的天线分段
的方法,包括以下步骤:从经评级的链路天线方
向图的初始集合中选择具有最佳平均评级的链
路天线方向图;在预定时间间隔,连续地选择
具有在到所述最佳平均评级的预定距离内的
平均评级的链路天线方向图的子集;确定在前
述步骤中选择的链路天线方向图的平均链路
性能;对已在

前述步骤中确定平均链路性能的链路天线方
向图,确定其平均评级;选择具有最佳平均评
级的链路天线方向图;以及,在下一个预定
时间间隔重复所述过程。



[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

N. Razavi-Ghods et al.CHARACTERISATION OF MIMO PROPAGATION CHANNELS USING DIRECTIONAL ANTENNA ARRAYS.《3G Mobile Communication Technologies,2004.3G 2004.Fifth IEEE

International Conference on》.2004,
MUHAMMAD FAINAN HANIF ET AL.MIMO Cognitive Radios with Antenna Selection.《IEEE Transactions on Wireless Communications》.2011,第10卷(第11期),

1. 一种在使用扇区化定向天线的MIMO无线传送系统中选择用于传送和/或接收的天线分段的方法,包括以下步骤:

从经评级的链路天线方向图的初始集合中选择具有最佳平均评级的链路天线方向图,所述链路天线方向图对应于激活天线分段的不同选择并且根据它们的平均链路性能进行了评级;

在预定时间间隔,连续地选择具有在到所述最佳平均评级的预定距离内的平均评级的链路天线方向图的子集;

确定在所述预定时间间隔内选择的链路天线方向图的平均链路性能;

对已在前述步骤中确定平均链路性能的链路天线方向图,确定其平均评级;

对应于具有最佳平均评级的链路天线方向图,选择用于传送和/或接收的天线分段;以及

在下一个预定时间间隔重复上述步骤。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,未被选择为所述子集的一部分的链路性能方向图的平均评级保持与之前相同。

3. 如权利要求1所述的方法,其中,在对链路天线方向图评级进行平均的时间段是移动窗口时间段,或者其中,平均评级被确定为指数平均。

4. 如权利要求1所述的方法,其中,在一天的一定时间或者一星期的天内提供链路天线方向图的不同子集。

5. 如权利要求1所述的方法,其中,在传送器与接收器之间建立链路,并且其中,所述传送器或者所述接收器通知相应的接收器或者传送器要选择哪个链路天线方向图。

6. 如权利要求1所述的方法,还包括:

选择不是链路天线方向图的该子集的一部分的新的链路天线方向图,并且实施链路性能测量和评级;以及

替换链路天线方向图的该子集中的具有比所述新的链路天线方向图更低的评级的链路天线方向图。

7. 如权利要求1所述的方法,其中,根据具有最佳评级的链路天线方向图改变地有多频繁来动态地调整所述预定时间间隔。

8. 如权利要求1所述的方法,其中,根据一天的时间和/或一星期的天来动态地调整所述预定时间间隔。

9. 一种具有至少两个天线并且适于以MIMO方式进行操作的控制装置,包含微处理器、程序存储器、数据存储器以及无线传送器和/或接收器的装置,其特征在于,所述天线是扇区定向天线,并且所述程序存储器保持适于实施根据前述权利要求1-8中的一项的方法的程序指令。

使用多扇区定向天线控制MIMO系统中无线连接的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明适于在MIMO系统中控制无线连接的方法,在该系统中,该系统的多个天线中的至少一个是使用其中至少一个被选择性地激活用于获取定向天线辐射特征或者方向图(pattern)的两个或更多的天线扇区(sector)的定向天线。在本说明书的上下文中,MIMO是多输入多输出(Multiple Input Multiple Output)的首字母缩写。MIMO通常涉及使用多个天线进行传送和接收,提供传送和接收天线和对应的信号传播路径的多种组合的无线传送。通过使总传送功率散布在多个天线上,MIMO可以通过分集增益(diversity gain)提供改善的链路可靠性和/或通过阵列增益提供改善的频谱效率。

背景技术

[0002] 随着朝向家庭和企业中的统一通信、IPTV、协作应用的增长趋势,以及对应的针对高吞吐量无线通信的日益增长的需求,多输入多输出(MIMO)已经成为用于未来无线网络的关键技术之一。MIMO结合多个全向天线与信号处理技术,从而使可用的无线电资源的维度延伸至时间、频率和空间。其在多种标准协议(例如,IEEE 802.11n第11部分)中被采用,已经被广泛地利用于输送流式传输的声音以及要求高吞吐量的高清晰度视频流量。

[0003] 长期受到关注的另一无线技术是定向天线,其针对所期望的接收器使用预定的窄波束来集中RF能量。这获得吞吐量增益并且减少干扰。另外,天线的方向性便于确定天线的适当取向,特别是在考虑视线路径(line-of-sight path)的室外环境中。最近,已显示在室内环境中的定向天线即使在不存在视线路径时也在节点之间提供少量强路径(strong path)。

[0004] N.Razai-Ghods、M.Abdalla和S.Salous已经在“Characterization of MIMO propagation channels using directional antenna arrays”(Proc.IEEE Sarnoff Symp.,普林斯顿,NJ,USA,2009年3月)中说明了MIMO与定向天线的组合。然而,该结果基于定向天线的固定取向,从而得到如下结论:使用定向天线的效益在最好的情况下也只是勉强够格的。

[0005] 在“Improving MIMO capacity with directive antennas for outdoor-indoor scenario”(IEEE Trans.Wireless Comm.,第8卷,第8号,第2177-2188页,2009年5月)中,C.Hermozilla、R.Feick、R.A.Valenzuela和L.Ahumada讨论了在散射恶劣(scattering-poor)的环境中使用MIMO和定向天线。

[0006] 在相关领域中,使用MIMO和定向天线,“Demystifying beamforming”(http://www.nowire.se/produktblad/Ruckus/Beamforming-WP-030909.pdf)(Ruckus Wireless, Inc.,美国加利福尼亚州,桑尼维尔)讨论了收集封包错误率以便确定多个天线的取向。J.C.Bicket在“Bit-rate selection in wireless networks”(博士论文,MIT,美国马萨诸塞州波士顿,2005年)中讨论了一种相关速率适配算法。

[0007] US 2006/0234777 A1公开了一种具有多个扇区并且包含为各个扇区服务用于将数据传送给移动站的两个或更多扇区传送器的无线电接入网络。

[0008] Muhammad Fainan Hanif、Peter J.Smith、Desmond P.Taylor和Philippe A.Martin在“MIMO Cognitive Radios with Antenna Selection”(IEEE Trans.Wireless Comm.,第10卷,第11号,第3688-3699页,2011年11月)中讨论了使用天线扇区来在提高可达到的速率的同时联合地满足多个主用户环境中的干扰约束。

[0009] Jun Zhou、John Thompson和Ioannis Krikidis在“Multiple Antennas Selection for Linear Precoding MISO Cognitive Radio”(Wireless Communications and Networking Conference,2009年4月5日)中讨论了用于在认知无线电设置中频率重用的天线选择算法。

[0010] Anand Prabhu Subramanian、Henrik Lundgren、Theodoros Salonidis和Don Towsley在“Topology Control Protocol Using Sectorized Antennas in Dense 802.11 Wireless Networks”中呈现了一种用于最小化网络干扰和最大化网络容量的基于测量的优化框架。

发明内容

[0011] 本发明的目的是以有利的方式控制具有至少一个多扇区定向天线的MIMO无线接入点,以便即使在没有附加方向性增益的情况下,通过改变MIMO信道的结构来维持高吞吐量增益。另一目的是避免MIMO环境中的不稳定的链路质量和链路吞吐量。本发明基于如下发现:取决于天线的哪个扇区被激活,当与只使用全向辐射天线相比较时,吞吐量可能增加或者下降,并且增加或者下降的吞吐量只发现于激活方向图的很小的子集中。在本说明书中的激活方向图是指天线的哪些扇区在传送时是激活的。本发明还基于如下发现:具有增加的吞吐量的激活方向图主要取决于环境,并且与激活扇区的数量、Tx或Rx扇区激活或者天线取向无关联。本发明还进一步基于如下发现:在使用多扇区天线时,干扰级别与激活的扇区的数量是成比例的。通过确定只包含高性能的天线配置的子集,从中选择具有关于平均吞吐量的最佳平均评级的一个配置,本发明的方法避免选择可能在一且不再满足性能阈值就进行任意方向图选择的情况下出现的示出不良性能的扇区方向图。因此,本发明的方法降低了由于选择低性能的天线方向图而引起的链路损耗的概率。根据通过在预定时间内在一天的不同时间和/或一星期的不同天确定的平均评级度量来确定高性能天线扇区方向图。与现存的MIMO无线接入点相比,本发明的方法通常在任何选取的时间段内提供更高的平均吞吐量,同时降低了在连接降到预定性能阈值以下的情况下的探测所需的时间。另外,根据实际的配置,本发明的方法可以通过选择适当的天线方向图或者天线配置来减少与在附近进行操作的其他设备之间的干扰,增加空间重用。

[0012] 如已经在上面指出的那样,简单地组合MIMO和定向天线不一定只产生效益。例如,考虑室外环境中的点对点MIMO。MIMO在充足的散射多路径环境中获得容量增益。然而,室外环境典型地具有单个的强视线路径,定向天线将减小MIMO链路的容量。相反,在例如室内环境的提供充足的散射多路径的环境中,MIMO的定向天线将表现如何不是立即显而易见的。一方面,可能指出由于因其狭窄的波束而导致的减少的多路径或者信号散射,定向天线可能减少MIMO链路的容量。然而,另一方面,方向性可能改变传播路径的结构,由于方向性的结构改变和信号增加能够提高链路容量。

[0013] 根据本发明,天线选择单元适于选择性地激活天线系统的不同天线元件以便创建

不同的定向天线方向图,用于传送Tx和/或用于接收Rx。在下面的说明书中,“链路天线方向图”的表达方式是指分别在两个MIMO无线节点之间的无线链路的传送器和接收器节点处的定向天线方向图的Tx-Rx组合。根据本发明,确定使链路吞吐量最大化的链路天线方向图的集合,在链路性能下降到预定阈值级别以下的情况下,从其链路天线方向图中做出选择。可以根据所测量的吞吐量、信噪比(或者SNR)、接收信号强度(或者RSS)、封包错误率(或者PER)等确定链路性能。根据本发明,对集合中的每一个链路天线方向图,确定一个或更多的链路性能度量。在操作期间,以一定的时间间隔,或者当无线链路的使用率低时,从集合中选择一个或更多的链路天线方向图并且实施链路性能测量。在一定的时间段内完成该链路性能测量,从而得到平均结果。对方向图根据它们的平均结果来指定评级,并且根据它们的评级来进行选择,亦即,选择示出最佳平均评级的方向图。

[0014] 按照根据本发明的一个方面的方法,在初始测量步骤中,以如下方式选择性地激活多个天线的每个中的扇区:相继地建立链路天线方向图或者所有天线的激活扇区的多种甚至是全部的可能组合,包括在一个或更多的天线上的多个扇区的激活。该步骤针对每个天线相继地建立用于传送的多个定向辐射波束形式以用于接收的定向接收灵敏度方向图。要注意的是,每个单独设备的传送和接收方向图可以不同。对每个方向图产生不同的分集(diversity)环境,从而可以展现根据MIMO原理是有利的信号路径。另外,可以使用总传送功率的不同份额来馈电不同的天线,进一步地使不同的信号路径上的信号传播多样化。针对激活的天线扇区的多种组合的每个以及施加于单独天线的传送功率,确定接收的信号强度、吞吐量和/或错误率,或者更一般地,确定链路性能。错误率可以包括比特错误率、封包错误率、块错误率等。该确定可以通过发送预定义的数据包并且从接收器接收关于所接收的数据的对应信息或者以任何其他已知方式来完成。将由此得到的信息存储在存储器中,并且根据随时间变化的链路性能的稳定性以及达到的相应的吞吐量对链路天线方向图进行评级。将在本说明书的下面进一步地说明评级的细节。

[0015] 该测量可以立即地或者在一段较长的时间之后重复一次或者若干次,以便建立关于特定天线组合的时间稳定性的信息。还可以在一天不同时间或者一星期的不同天重复该测量,以便能够在以规律的方式根据一天的时间或者一星期的天的变化的环境条件下提供最大性能。

[0016] 根据本发明,提供高于预定阈值的吞吐量的扇区方向图或者激活的天线扇区的组合被组合成扇区方向图集合,所述集合在提供优于预定阈值的吞吐量的使用的期间的任何时间提供至少一种组合。在操作期间,无线接入点可以甚至是以很短的间隔(例如,秒)从扇区方向图的预定集合中选择,以便在任何时间维持最佳的可能的吞吐量。集合可以在一天的一定时间内或者一周的某一天内有效。

[0017] 在操作期间,对于链路天线方向图集合的所有链路天线方向图,在预定时刻确定平均链路性能。例如,平均链路性能可以是在预定义的数量在过去即时链路性能值上的移动平均,或者是指数平均。根据平均链路性能存储链路天线方向图以得到每个预定时刻的即时评级。然后,对每个预定时刻确定每个链路天线方向图的平均评级。该平均可以是在预定义的数量在过去即时评级上的移动平均,或者是指数平均。一旦确定了平均评级,就选择当前具有最佳平均评级的链路天线方向图用于传送。

[0018] 为了减少在正常操作期间进行测试所需的时间和开销,在随后的测试和选择操作

中,只选择预定数量的具有到最佳平均评级的一定接近度以内的平均评级的链路天线方向图,并且确定它们相应的即时链路性能以及对应的平均链路性能和平均评级。未被选择用于重复测量的方向图的平均评级保持与之前相同。一旦完成了随后的测试,就选择具有最佳平均评级的链路天线方向图。在预定时刻重复该过程。

[0019] 链路天线方向图集合中的链路天线方向图的数量越大,越需要更多的时间来找到具有最佳平均评级的方向图。然而,可以提高找到具有最高链路性能的链路天线方向图的概率。一旦找到始终具有优良平均评级的链路天线方向图的稳定集合,就可以减少集合大小。

[0020] 根据具有最佳平均评级的链路天线方向图改变地有多频繁,可以动态地调整探测发生的时间间隔以及探测本身的持续时间。例如,在室内系统中,具有最佳链路性能的方向图典型地随着人们四处移动根据典型的室内环境中的信道特征而以小时间尺度地改变。因此,为了最准确地跟踪信道变化,该时间间隔应当显著地短于相干时间,其典型地约为1秒。另一方面,则可以选取数秒或者数十秒,从而愿意接受不太准确的跟踪,但是将探测开销分摊到时间上。

附图说明

[0021] 下面将参考附图更详细地说明本发明,附图中:

[0022] 图1示出在无馈电损耗的情况下的多扇区天线的示例性辐射方向图;

[0023] 图2表示可以使用本发明的示例性室内环境;

[0024] 图3示例性地示出与长期平均相关的SDM有效SNR采样的分数;

[0025] 图4示出示例性的STBC SNR和SDM有效SNR对吞吐量的关系;

[0026] 图5示例性地示出活动扇区的各种组合的吞吐量增益;

[0027] 图6示例性地示出吞吐量增益对活动扇区的取向;

[0028] 图7示例性地示出每个链路的吞吐量增益与天线方向性增益;

[0029] 图8示例性地示出3个Tx天线方向图集合的随时间变化的吞吐量变化;

[0030] 图9示例性地例示各种天线方向图的平均RSS_{diff}值;

[0031] 图10示例性地图示关于天线方向性增益的平均RSS_{diff};

[0032] 图11示例性地示出从中进行选择的不同数量的链路天线方向图的吞吐量增益;并且

[0033] 图12示例性地示出在使用根据本发明的评级的情况下以及不使用根据本发明的评级的情况下的随时间变化的吞吐量增益。

具体实施方式

[0034] 根据本发明的示例性装置配有至少两个多扇区天线,其中每个都具有四个天线元件。在一个实施例中,天线元件不提供方向性增益。该装置还具有处理器、适于在程序信息的执行期间存储程序信息的程序存储器以及适于在程序信息的执行期间存储数据的数据存储器。该装置还具备例如闪存类型或者电子可擦除可编程ROM (EEPROM) 类型的非易失性存贮存储器,用于在程序信息的执行期间非临时性地存储程序信息和/或使用的数据。还能想到其他类型的非易失性存储存储器,包括光或磁存储以及客户端/服务器数据存储。该装置

还可以配备有用于接收和传送数据的有线接口,例如,用于连接到LAN或者主机设备。该有线接口可以例如是USB类型的或者是IEEE 802.3类型的。还能想到其他类型的有线接口。与全向幅射方向图相比,使用方向性增益指示朝向一个方向的定向天线的附加天线增益。在一个示例性实施例中,天线元件印刷在印刷电路板(或者PCB)上,以IEEE 802.11n的5GHz频带覆盖整个水平面。可以激活扇区的任何组合以便通过馈电网络进行传送或者接收,以下将所述组合称为扇区激活方向图,或者简称为扇区方向图。这得到 $2^4-1=15$ 种不同的激活方向图,其中有一种是“全部四个扇区被激活”,得到全向方向图(以下称为全模式)。图1(a)和1(b)分别图示具有四个和一个激活扇区的辐射方向图。表1示出每个方向图的天线方向性增益取决于激活扇区的数量以及(对于两个激活扇区的情况)它们是否相对(2相对)或者相邻(2相邻)。

[0035]

方向图:	全	3 扇区	2 相邻	2 相对	1 扇区
方向性增益[dBi]	2.4	3.5	4.6	5.7	6.9
馈电损耗[dB]	0	-1.25	-3	-3	-6
总体增益[dBi]	2.4	2.25	1.6	2.7	0.9

[0036] 显而易见的是,天线方向图的激活扇区越少,方向性增益就越高。然而,设计了天线馈电网络以引入馈电损耗,使得所有的天线方向图都呈现近似相等的峰值增益。作出这种设计决定以减少多跳网状网络中的定向终端问题。

[0037] 如图2所示,在典型的实验室空间中的单个楼层中部署示例性测试性设置。这是一个典型的办公室环境,其由通过玻璃墙分开的小室、小间和办公室组成。由于多扇区天线的可用性,只需要四个节点。可以通过传送功率(或者Tx功率)控制来模拟不同的拓扑。

[0038] 在本说明书中呈现的示例性测试结果是将UDP吞吐量用作链路性能度量来得到的。为了测量具有多扇区天线的MIMO链路的最大吞吐量,需要考虑大量的激活方向图以及可能的时间变化。

[0039] 在传送器(Tx)和接收器(Rx)每个都使用s个扇区的多扇区天线,具有K个MCS数据率的 $M \times M$ 的MIMO系统中,测试所有组合需要 $K \times (2^S-1)^{2M}$ 次吞吐量测量。关于 $M=2, s=4$ 并且 $K=16$ 的示例性系统,这对应于810,000次吞吐量测量。对于本发明,以两种方式解决该问题。第一,限制为每个链路考虑的激活方向图的数量。具体地,以全模式对链路的另一端在Tx或者Rx(亦即,传送器或者接收器)处实施扇区激活。要注意的是,在当前的802.11n WLAN中,在接入点(AP)处只实施Tx波束成形,并且客户端具有全向天线。另外,对于每个电线,活动扇区的数量保持相同。从而在该特殊情况下,将所考虑的天线方向图的数量从 $(2^S-1)^{2M}$ 减少至 $\sum_{x=1}^S \binom{S}{x}^M$,亦即,

$\sum_{x=1}^3 \binom{4}{x}^2 = 68$ 。将方向图集合称为针对每个天线的活动扇区的数量

以及Tx或者Rx的选取。第二,通过使用UDP吞吐量对SNR(或者信噪比)映射来处理多个MCS

率。除了由多数802.11无线设备提供的接收信号强度(或者RSS)之外,在该示例性设置中使用的硬件存储关于每个接收到的封包的SNR信息。如果该封包以SDM模式编码,则一对SNR值(针对每个空间流的SNR)是可用的,并且如果以STBC模式编码,则单一的SNR值是可用的。

[0040] 在示例性的一系列测量中,将硬件专用的SNR信息映射成UDP吞吐量。使用iperf和tcpdump工具,关于受限方向图集合中的每一个,对每个MCS率的UDP吞吐量测量5秒钟。5秒钟的测量的持续时间已被测试识别为很充分。流量负载被设为高于每个MCS率。对SNR值进行平均并且映射成吞吐量。对于SDM模式封包,将每个SNR值对组合成单个有效SNR以便进行到吞吐量的一对一映射。因此,有效SNR是关于一对SDM模式SNR值的单一代表性SNR。

[0041] 如上所述,关于不同激活方向图的测量结果可能受无线信道的时间变化影响。为了对该影响进行量化,测量落入长期平均的 ± 8 dB范围内的SDM有效SNR采样的分数。图3示出关于不同的 δ 的这些结果。在晚上,即使对于上至200s的时间间隔,也只有10%的采样从长期平均偏离2dB,参见图3(a)。在白天,参见图3(b),对于20秒的时间间隔,约15%的采样偏离2dB,其接近于所使用的802.11n设备的1dB粒度。为了进一步地最小化离群值的影响,除非指定,否则在晚上实施所有的测试,连续地测试每个激活方向图 and 全模式的吞吐量,并且只考虑它们各自的差异。

[0042] 图4示例性地示出关于示例性无线设备的平均吞吐量采样以及对应的SNR或者有效SNR值。为了产生映射,广义S型函数适于具有相同MCS率的吞吐量采样的每个集合。通过测量STBC SNR值以及SDM有效SNR值来估计使用一定天线方向图的链路的吞吐量,使用映射将这两种SNR值映射成吞吐量,并且选取这两个吞吐量值中的最大值。

[0043] 为了对全模式传送上的MIMO扇区激活的吞吐量增益进行量化,使用与之前相同的示例性测试设置。再次地,使用与之前相同的映射以连续方式测量全模式的SNR以便得到吞吐量增益。为了得到可靠的结果,将每个测量重复五次,并且对结果进行平均。确定关于各种扇区方向图的RSS的影响、激活扇区的数量、Tx或者Rx扇区激活、设备的位置、方向性增益以及时间吞吐量变化。

[0044] 图5示出具有Tx和Rx扇区激活两者的天线方向图的吞吐量增益。图5中的每个灰色条示出针对每个天线的一个、两个或者三个激活扇区的中值增益;误差条(error bar)表示最大和最小吞吐量增益。黑色条表示具有最高RSS的方向图的吞吐量增益。多数链路在全模式上获得正的最大吞吐量增益,在每个天线有2个Rx扇区的链路1-3上最多为130%,并且在所有链路上平均为21%。如先前所述,因为在该示例性测试设置中使用的多扇区天线在全模式上不提供天线方向性增益,所以这看上去与直觉相反。因为多扇区天线以相等的或者更小的信号功率进行传送或者接收,并且Tx与Rx之间的某些分集路径被抑制,所以可能指出将不可能观察到正的吞吐量增益。正的吞吐量增益是由于在有角的区域中的信号的群集传播。在室内环境中的传播测量已示出离开的角度(AoD)和到达的角度(AoA)形成相关信号群集。另外,只有2至4个群集有利于接收到的信号。获得正吞吐量增益的天线方向图与这些主信号群集同相地对齐,从而避免了负增益,而且与在天线输入端引入信号相关性的其他群集不对齐。这种不对齐减少了接收信号相关性,使得MIMO信道矩阵呈现去相关性。因此,没有方向性增益的扇区激活可以通过在结构上改变MIMO信道来创建吞吐量增益。尽管存在关于高的正的最大吞吐量增益的可能,图5还示出多数链路获得负的中值吞吐量增益,平均-9.3%,并且最小增益可以达到如-100%一样低,例如针对每个天线2个Rx扇区的链路1-3。

因此,少于半数的天线方向图提供正增益,并且如果不仔细地选取扇区激活方向图,则关于吞吐量性能可能产生高损失。在图5中表示的测量结果清楚地示出最大吞吐量增益不取决于激活扇区的数量或者使用了Tx激活还是Rx激活。

[0045] 对于图5中的多数节点对(x,y),具有Tx激活的链路x-y的性能可以完全地不同于具有Rx激活的互补链路y-x的性能。因此,一般地,链路不是对称的,并且无法利用链路互补性减少测量开销。这适用于分别在图5(a)和5(b)中的Tx和Rx激活。因此,在没有天线方向性增益的情况下,RSS无法足够准确地预测吞吐量增益。

[0046] 图5还示出了共处一地的链路显示出完全不同的性能。例如,考虑共享节点2的链路2-3和5-2。链路2-3对于Tx和Rx激活获得正的最大吞吐量增益,对于Rx激活获得正的中值吞吐量增益,基于RSS的吞吐量增益接近于关于Rx激活的最大吞吐量增益。相反地,链路5-2仅对Tx激活获得正的最大吞吐量增益,具有负的中值吞吐量增益,并且基于RSS的吞吐量增益全部接近于中值吞吐量增益。基于上述观察,吞吐量增益呈现“任意性”。然而,本发明发现就信号散射而言,环境是“任意的”,并且扇区激活改变MIMO信道的结构,其高度取决于周围环境。 $M \times N$ MIMO信道中的Tx和Rx天线信号之间的关系是 $y = \gamma \cdot Hx$,其中,x是 $1 \times M$ 输入矢量或者Tx符号矢量, γ 是基于标量路径损耗的信道增益,H是 $M \times N$ MIMO信道矩阵,y是 $1 \times N$ 输出矢量或者Tx符号矢量。先前的观察,即RSS不是吞吐量增益的优良指标,意味着对吞吐量的主要贡献者是MIMO信道矩阵H的结构而非标量增益 γ 。

[0047] 现存研究表明H的结构高度取决于链路的周围环境和结果路径。特别是在室内环境中,每个链路的周围都是显著不同的,并且导致跨越激活方向图的不同吞吐量增益。

[0048] 如前所述,可以通过减少全模式下的传送功率来创建天线方向性增益。在示例性测量设置中使用的网络接口卡或者NIC支持以3dB的增量的传送功率控制,从而允许在活动扇区的数量是1或者2时对多扇区天线的馈电损耗进行补偿,参见表1。因为三个活动扇区的馈电损耗是1.25dB,所以下面不考虑具有3个活动扇区的方向图集合。

[0049] 图6图示了在所有链路上的平均吞吐量增益,作为按照朝向链路的另一端的激活扇区的地理方向排序的天线方向图取向的函数。TX1和TX3分别指示1个Tx和3个Tx扇区的激活方向图。RX1和RX3对应于Rx激活。F、L、R和B分别指示面对、向左、向右和向后取向。例如, TX1(或者TX3)中的F/F,在两天线的MIMO系统中的两个天线都具有面向接收器的活动Tx扇区。与每个节点具有单个扇区化天线的情况不同,地理关系与吞吐量增益无关,另外与活动扇区的数量以及Rx或者Tx激活无关。

[0050] 图7示出具有天线方向性增益的每个链路的吞吐量增益。最大和中值吞吐量增益分别是71%和14%。通过仔细地选择扇区激活方向图集合,一些链路,如1-2和3-2,呈现超过100%的最大增益。另外,链路1-3、2-3和3-2的中值增益超过50%。总体上,在80个方向图集合中的11个中,中值增益是正的,其暗示在每个方向图集合中多于半数的激活方向图能够提供比全模式更高的吞吐量。因此,即使在MIMO的情况下,模拟后的方向性增益也增加了通过 γ 表示的Rx信号水平。先前,这种效果仅对单个天线系统有效。

[0051] 在图7中,激活扇区的数量不会太多地影响吞吐量增益。对于所有的10个链路,5个链路示出关于1和2激活的不相上下的吞吐量增益,而与Tx或者Rx激活无关。与没有方向性增益的情况相似,图7还展示了不同链路位置以及互补配置的吞吐量增益的任意呈现。地理方向也不对吞吐量增益提供任何指示(曲线图未示出)。另外,可以将这些观察解释为周围

环境之间的差异的结果。

[0052] 如在图5中一样,图7黑色条表示基于RSS的吞吐量增益。基于RSS的激活得到比在40个方向图集合中的34个中的中值更高的吞吐量。另外,10个方向图集合在最大吞吐量增益的10%内。因此,断定不论室内环境的任意周围环境如何,在存在天线方向性增益时,RSS值成功地表示吞吐量增益。

[0053] 已经发现如果存在天线方向性,则RSS可以是吞吐量增益的优良度量,但可能仍然需要探测方向图集合中的所有方向图的RSS。因为上面考虑的其他空间标准没有示出任何相关性,所以将期待这一点。然而,本发明发现通过利用时间属性,不必总是探测所有方向图。

[0054] 在示例性测试中,根据1个Tx、1个Rx、3个Tx和3个Rx激活方向图集合中的方向图来实施不带有随后全模式测量的关于激活方向图的SNR测量。对链路2-1、2-3和2-5不考虑天线方向性增益。探测每个集合的所有方向图,并且重复探测40次,从13:30开始到17:30为止持续4小时。然后,使用在更上面所述的映射来得到吞吐量。

[0055] 在图8中例示了经由扇区激活的吞吐量的时间变化。在指定时间内对所有方向图取得最大值(Max),并且随时间跟踪在时间上展现第一(第1)和第二(第2)最大的数量的最大吞吐量的方向图的吞吐量。实线是标记“Max”的3个Tx扇区激活的所有方向图中的那些中的最大吞吐量的变化。通过计数方向图给出最大吞吐量的次数的数量,选取并随时间跟踪最频繁地获得最大值的两个方向图(标记“第1”和“第2”)。两个子图表示两种极端趋势。在图8(a)中,第1和第2在40次中有38次(亦即,大部分时间)匹配最大吞吐量。然而,在图8(b)中,多数时候,在最大吞吐量与第1和第2评级的激活方向图的吞吐量之间存在差距。两个方向图仅覆盖最大吞吐量的40%。即使在这种情况下,在时间索引从16至24之间的时间间隔期间,即对应于约45分钟,第1和第2方向图达到接近于最大吞吐量。

[0056] 为了进一步了解有多少方向图随时间达到最大吞吐量,记录下方向图有多少次达到最大吞吐量。然后,识别在90%或者95%的时间一起覆盖最大吞吐量达的方向图的最小子集,总结在表2中。

[0057]

	传送器侧		接收器侧	
	1 扇区	3 扇区	1 扇区	3 扇区

[0058]

	90%	95%	90%	95%	90%	95%	90%	95%
链路 2-1	6	8	9	10	4	6	8	9
链路 2-3	5	6	2	2	5	6	9	10
链路 2-5	3	4	3	4	3	5	8	10

[0059] 表2:在90%或者95%的时间包括具有最大吞吐量的方向图的扇区方向图的最小数量

[0060] 平均地,对于超过90%和95%的时间分别需要考虑16个方向图中的5.4和6.3个方向图以达到最大吞吐量。进行了两个观察:第一,在图8中的两种极端情况示出只有少数方

向图值得被考虑以达到最大吞吐量。第二,根据图8(a),吞吐量可以变化,同时少数方向图仍提供最大吞吐量。推断提供最大吞吐量的方向图的稳定性一定是由于室内环境中周围环境的元素的静态特性。相反地,图8(b)中示出的短时间尺度的吞吐量的相对快速的变化应该是由于人们四处移动。

[0061] 在下面的部分中,研究干扰减少和空间重用。使用与之前类似的顺序链路激活的实验性方法论,对Tx激活集合中的每个方向图测量SNR和RSS,立即继以全模式测量。差值 $RSS_{diff} = RSS_x - RSS_{omni}$ 用作干扰度量。负值意味着扇区激活方向图x与全模式相比减少了干扰并且增加了空间重用。为了具有稳定且固定的环境,在晚上实施所有测量,并且结果是五次重复的平均。对缺少以及存在天线方向性增益的情况均实施上述实验。

[0062] 图9(a)图示了在没有天线方向性增益的情况下的每个链路附近的全模式下的平均 RSS_{diff} 。例如,对于“链路1-2,1扇区”点,该平均包括对链路1-2的所有1扇区激活得到的所有链路1-3和1-5的 RSS_{diff} 值。 RSS_{diff} 值随活动扇区的数量减少而减少。在每个扇区化天线1个Tx扇区的情况下,可以减少全模式下的干扰最多达12dB(链路2-1),平均8dB(链路2-5)。尽管扇区激活减少了干扰水平,但是它们未必增加吞吐量增益。

[0063] 图9(b)图示了跨越以吞吐量增益的递减顺序的所有天线方向图的 RSS_{diff} 值。对于每个链路,首先根据递减的吞吐量增益排序方向图,然后对具有相同评级的 RSS_{diff} 值进行平均。可以观察到,对于激活扇区的每种数量, RSS_{diff} 值与吞吐量增益无关。特别对于最高吞吐量增益,它们保持不变。因此,通过选择多个激活扇区,能够使遭受不变干扰水平的吞吐量增益最大化,其在考虑1个Tx扇区的激活方向图时是最小的。总而言之,在没有天线方向性增益的情况下的干扰水平与激活扇区的数量成比例,并且与最大吞吐量增益具有很少的相关性。

[0064] 图10图示了在有天线方向性增益的情况下的每个链路附近的全模式下的平均 RSS_{diff} 。与没有天线方向性增益的情况(参见图9(a)的讨论)相反,跨越所有链路和Tx扇区激活集合,平均 RSS_{diff} 最多为3dB,并且在全模式的7dB范围以内。平均3dB的干扰减少对于使802.11n载波感测无效并且从而增加空间重用而言可能过低。另外,该干扰减少不取决于激活扇区的数量。尽管两个扇区激活具有比单个扇区激活少2.3dB的天线方向性增益(参见表1),其角度覆盖是单个激活扇区的两倍。另外,MIMO系统中的多个天线的使用为接收器提供了更多的机会来捕捉更多的信号路径,从而接收比单个天线接收器更强的信号。因此,当有天线方向性时,干扰减少很小,并且不取决于活动扇区的数量。

[0065] 基于上述发现,可以考虑两种实现方式:(1)用于MIMO的没有方向性增益的多扇区天线以利用吞吐量增益和空间重用,以及(2)用于MIMO的有方向性增益的多扇区天线以增加吞吐量增益。

[0066] 除了吞吐量增益之外,实现方式(1)还可以利用空间重用来提高网络范围内的性能。然而,空间重用需要不同链路之间的协作机制的隐藏终端为代价来得到。另外,如上所述,如果从实际硬件无法得到SNR信息,则仍然不清楚如何找到具有大的或者正的吞吐量增益的方向图。

[0067] 实现方式(2)使用适度的空间重用来得到,但是提供了更高的吞吐量增益和更简单的协议设计。对于扇区激活,其不需要不同链路之间的协作。另外,甚至是可以使用RSS来找到优良的激活方向图,提供了与IEEE 802.11n的向后兼容性。

[0068] 在下面的部分中,将呈现根据本发明的自动选择和激活扇区的方法。本发明的方法基于在先前段落中呈现的实施方式(2)。基本上,本发明的方法包括以下步骤:

[0069] -首先,在正常的或者常规的操作之前,选择候选激活方向图集合,记为P。还选取用于估计方向图的质量的度量。候选度量例如是诸如SNR和RSS这样的显式的基于反馈的度量以及诸如通过普通的包传送测量的封包错误率(PER)这样的非显式的基于反馈的度量。然后,对P中的所有方向图进行探测和评级。一旦实施了初始设置,就在正常操作期间执行以下步骤:

[0070] -基于随时间的度量历史来选择P中的N个方向图。

[0071] -在T的时间间隔期间探测该N个方向图以得到度量值。

[0072] -一旦探测到所有N个方向图,就基于它们的平均度量值对所有方向图进行排序,然后选择具有最佳平均评级的方向图。

[0073] 该初始步骤使得能够从良好的初始状态开始,并且缩短收敛到优良子集的时间。在正常操作期间实施的步骤目的在于找到将尽可能多次地包括最大吞吐量方向图的P的子集。它们在短时间内评估并选择子集,并且逐渐地对该子集在吞吐量方面进行精细化。例如,这通过取得度量平均(例如,到目前为止收集的值的SNR、RSS或者PER)来完成。然而,使用随时间而平均的度量值,而不是使用直接测量结果,但是最终基于时间平均的评级来选择子集。由此,本发明的方法权衡研究中的方向图的顺序,不强调度量的实际值。探测限于所选择的子集N的扇区。最后,选择最佳方向图。在通过测量随时间而平均的链路性能来确定评级的同时,根据平均后的评级作出选择。

[0074] 根据本发明,需要确定三个参数P、T和N。P可以是整个方向图集合的任何子集。例如,P可以是具有单个活动扇区的Tx激活中的方向图(其全部有16个)的集合。然而,并不限于这种类型的方向图。要注意的是,集合越大,要找到用于探测的优良子集就越有挑战性。同时,可以期待更多的吞吐量增益。一旦确定了大的候选集合,就将利用时间平均的评级来减少集合大小,减少探测的数量。关于T的选取取决于在P中的具有最高吞吐量的方向图有多频繁的改变。另外,其还取决于如何准确地随时间跟踪信道变化。如上所述,具有最高吞吐量的方向图以小时间尺度改变,继以在典型室内环境中的信道特征。因此,为了最准确地跟踪信道变化,T应当显著地短于相干时间,其典型地约为1秒钟。另一方面,如果愿意接受不太准确的跟踪,但是减少随时间的探测开销,则可以选取数秒或者数十秒的T。

[0075] 对于选取的T和N,当确定了N时,应当考虑附加的探测开销的量。因为开销量对于所使用的物理或者MAC协议是非常具体的,所以其取决于实际的实现方式。例如,与附加的封包交换操作一样或者在现存的普通包传输调度时附带发生的一样,可以将探测操作集成到实际协议中。之后,可以选取N使得吞吐量增益胜过由于探测开销而导致的吞吐量损耗。

[0076] 将关于Tx扇区激活的方向图称为P。为了进行评估,收集所有P的SNR和RSS,并且对收集的数据集实施评级以便进行公平的比较。为了收集该数据集,以连续的方式对某个方向图以及全模式这两者实施相同的SNR测量。将测量重复足够多的次数,例如40次,在一天的不同时间以及一星期的不同的天重复该测量。对所有链路重复测量。图11示例性地示出关于不同数量的链路天线方向图的吞吐量增益以从中进行选择。

[0077] 图12示出关于N=8的在所有链路上并且随时间而平均的吞吐量增益。考虑两种度量:分别在图12(a)和图12(b)中的SNR和RSS。在图中,“Max”是当每次都选择具有最大度量

值的方向图时的吞吐量增益。“w/评级”对应于使用方向图的评级进行子集选择,“w/o评级”对应于简单地使用SNR或者RSS值的时间平均。显然,根据图12(a)和图12(b),本发明的方法成功地选择给出正的吞吐量增益的激活方向图。特别地,使用SNR的基于评级的选择提供了多于50%的增益,而即使在所考虑的方向图的数量减少到一半时,最大值也是62%。当本发明的方案根据RSS进行选择时,最大增益是23%,这比根据SNR进行的选择小得多。因此,使用SNR是有利的。尽管两种变型随着N增加都接近于最大值,但是基于评级的选择的坡度比基于时间平均的急得多。这再次表明,在长时间运行时,信道改变频繁,但是少量方向图仍成功地获得接近于最大值的吞吐量增益。

[0078] 图12展示了本发明的方法如何在N=8时在指定链路2-3上随时间跟踪具有最高吞吐量的方向图。使用SNR,基于评级的选择几乎所有时间都成功地找到具有最高吞吐量的方向图。然而,基于时间平均的选择即使是使用SNR也表现得相对较差。因为对于SNR探测到16个方向图中的8个,所以低劣的性能示出,基于原始时间平均的选择受信道的小时间尺度变化影响更多,而受方向图的优良子集的长期固定性影响更少。

[0079] 本发明使用如下发现:使用天线激活方向图的有限子集,可以得到吞吐量增益。对Rx和Tx的所有激活方向图收集SNR,确定在一定时间内的SNR的稳定性,由此确定该子集,并且根据它们的长期稳定性对方向图进行评级。在吞吐量降至阈值以下的情况下,只考虑被发现具有长期位于预定阈值以上的SNR的那些方向图。可以周期性的重复关于SNR的确定以便对环境中的改变进行补偿。在吞吐量下降的情况下,结合额外封包信息跟踪以便找到适当的天线方向图,本发明有利地避免了对所有可能的天线方向图的暴力测试的需要。

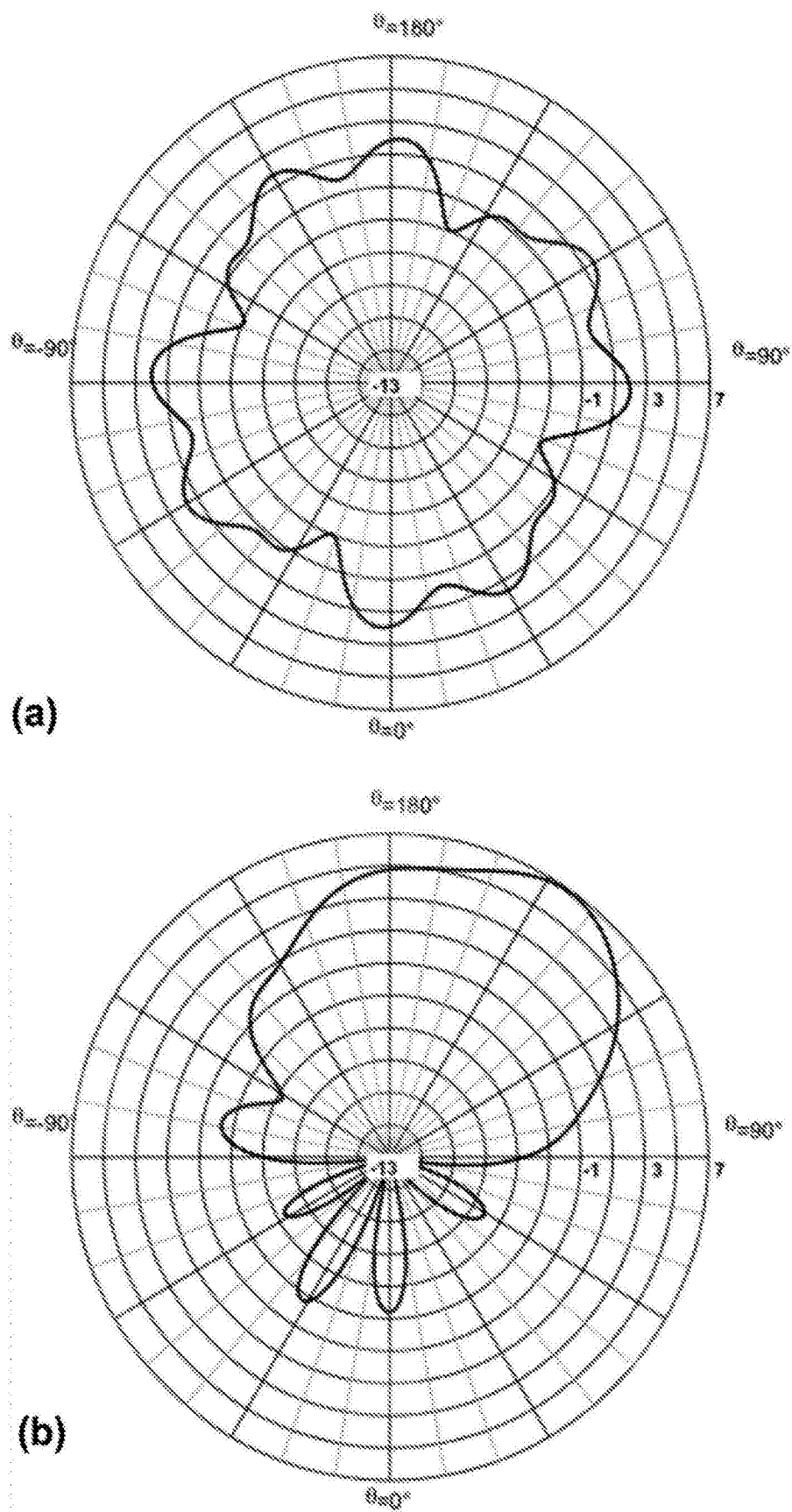


图1

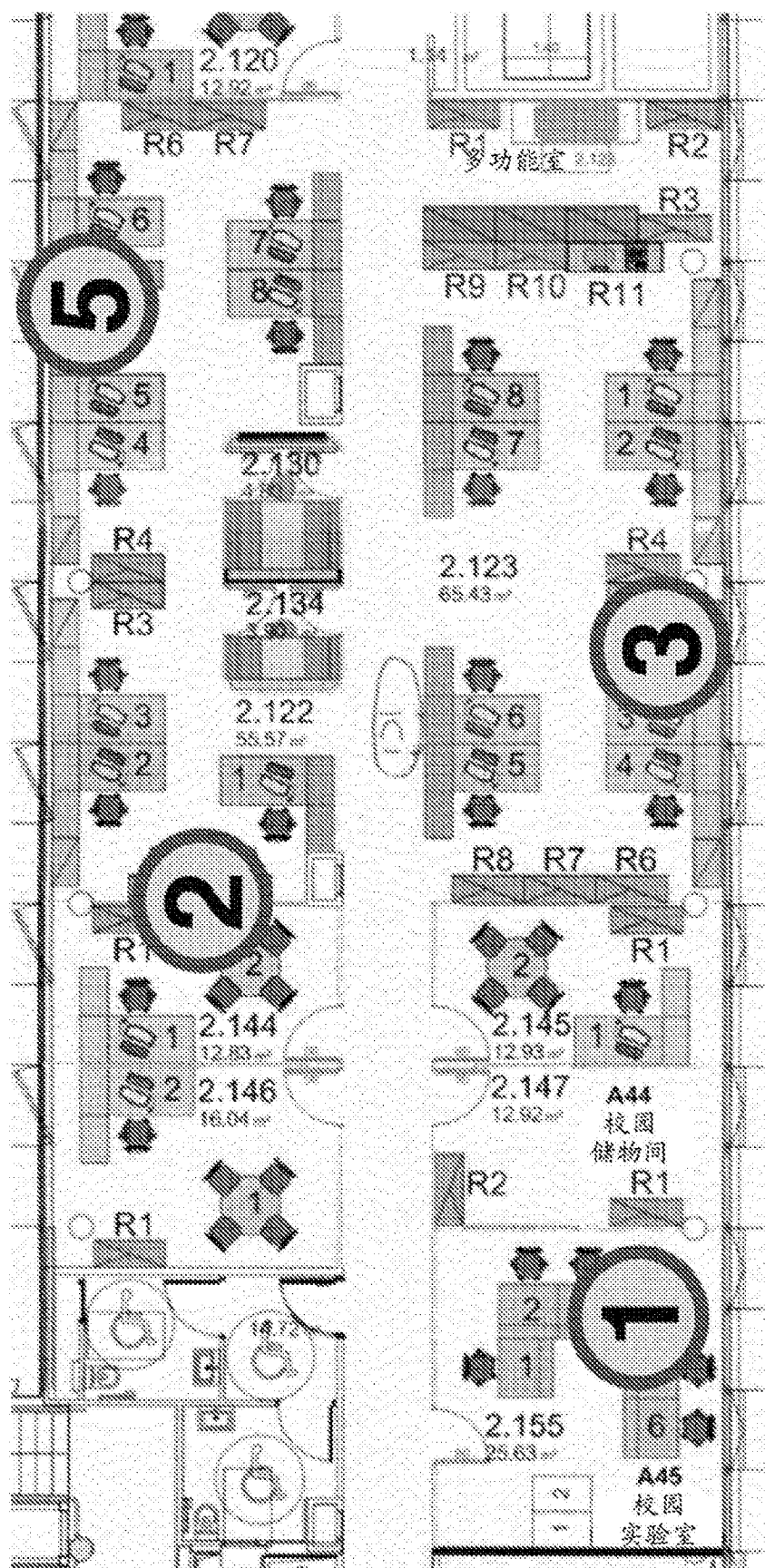


图2

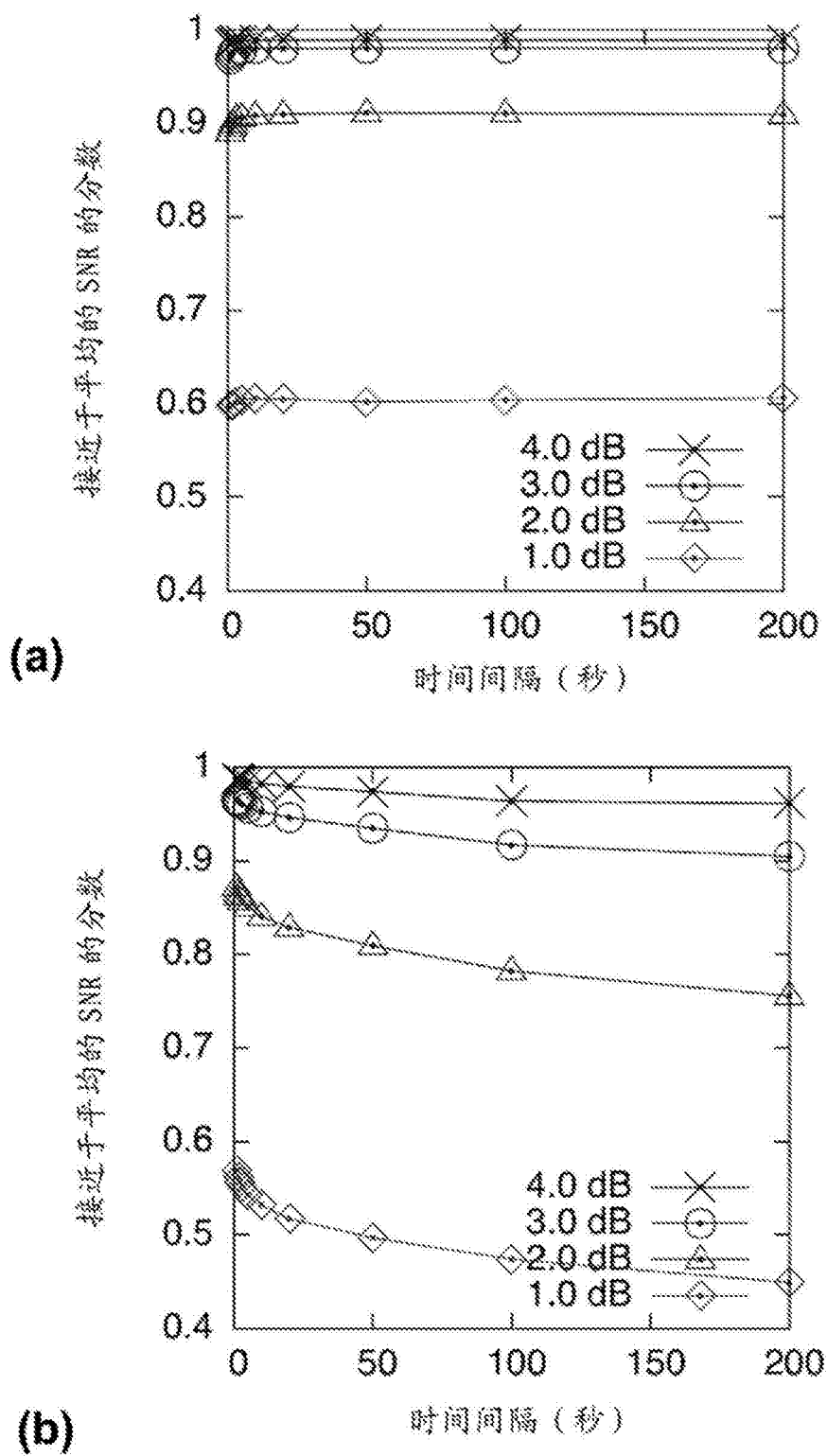


图3

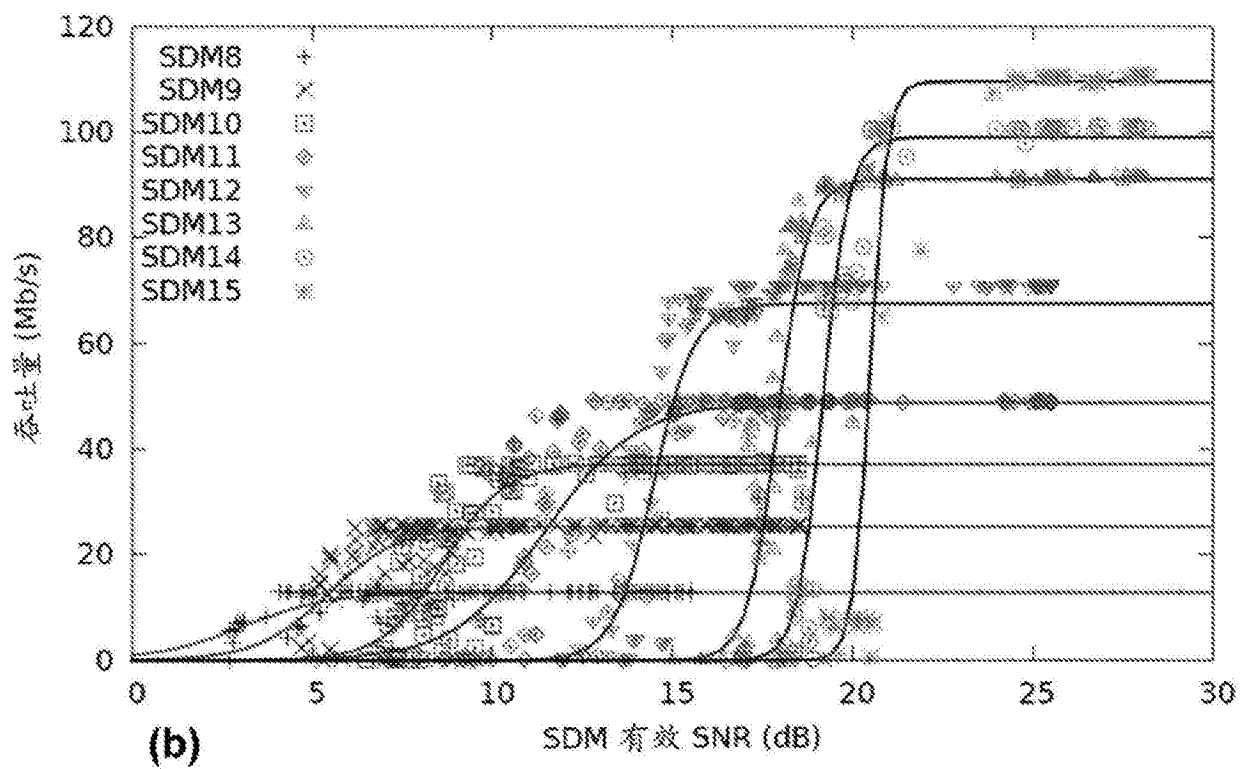
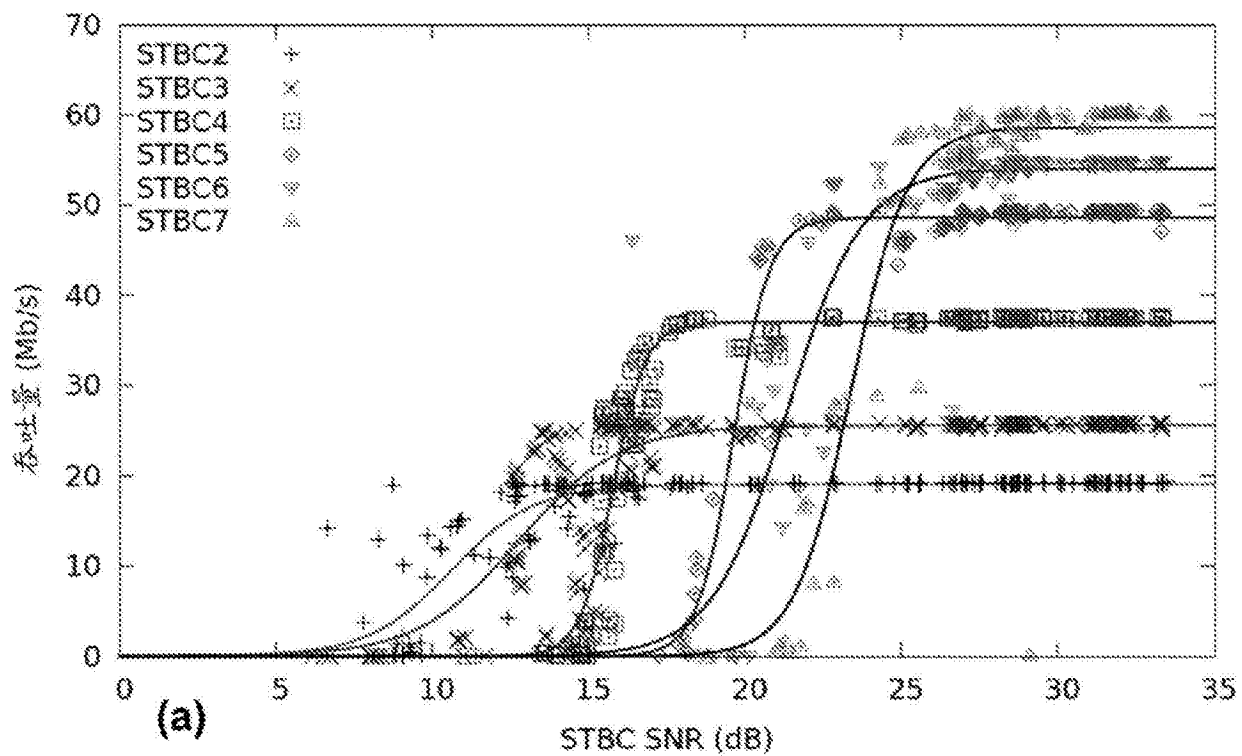


图4

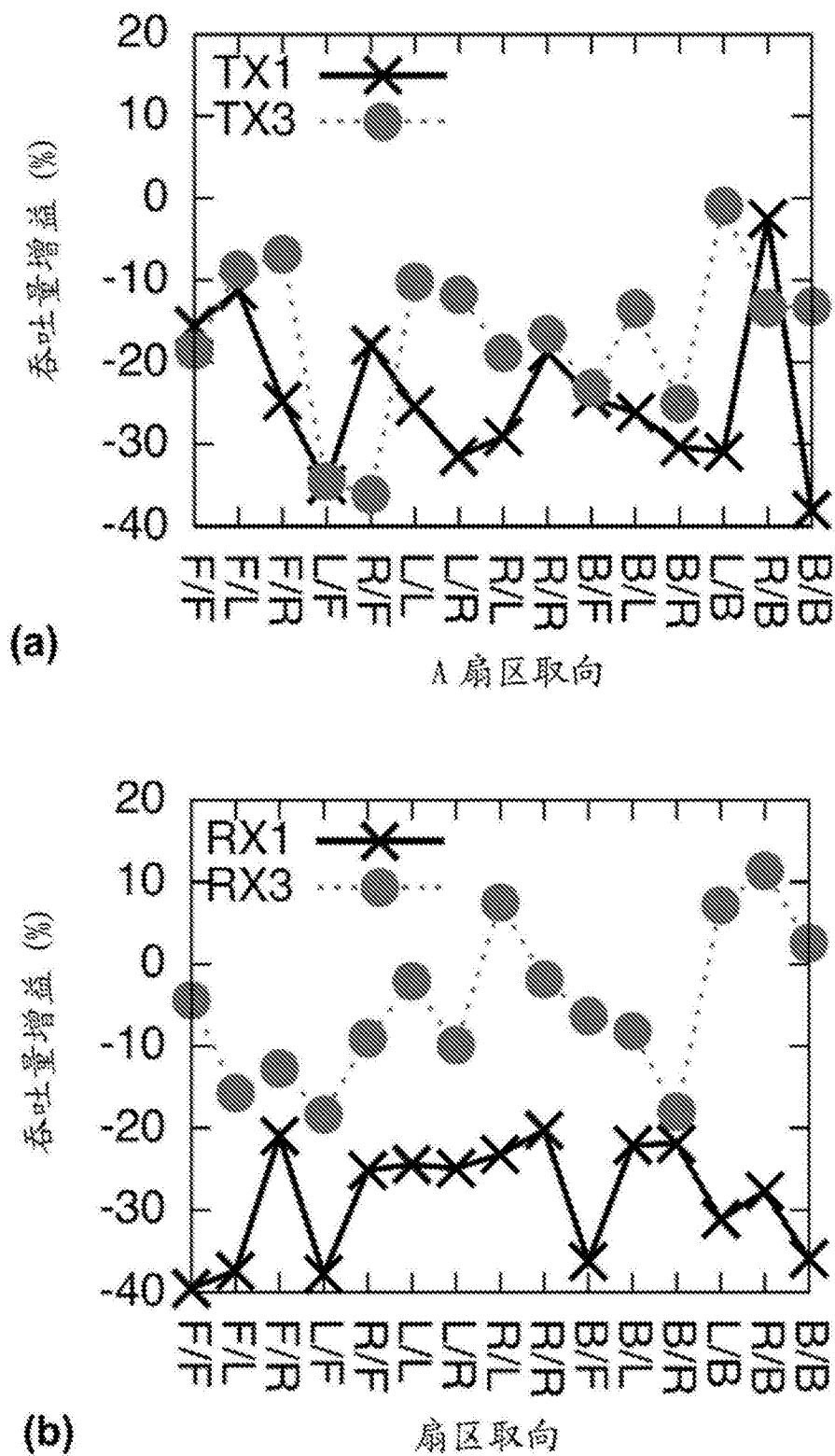


图6

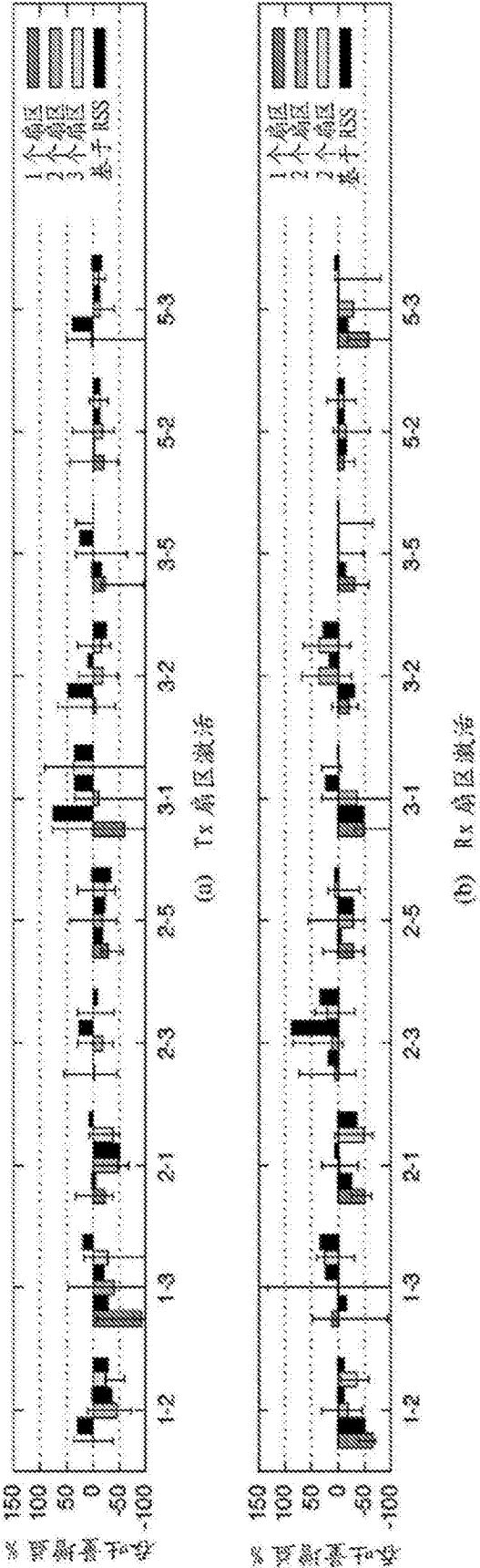


图5

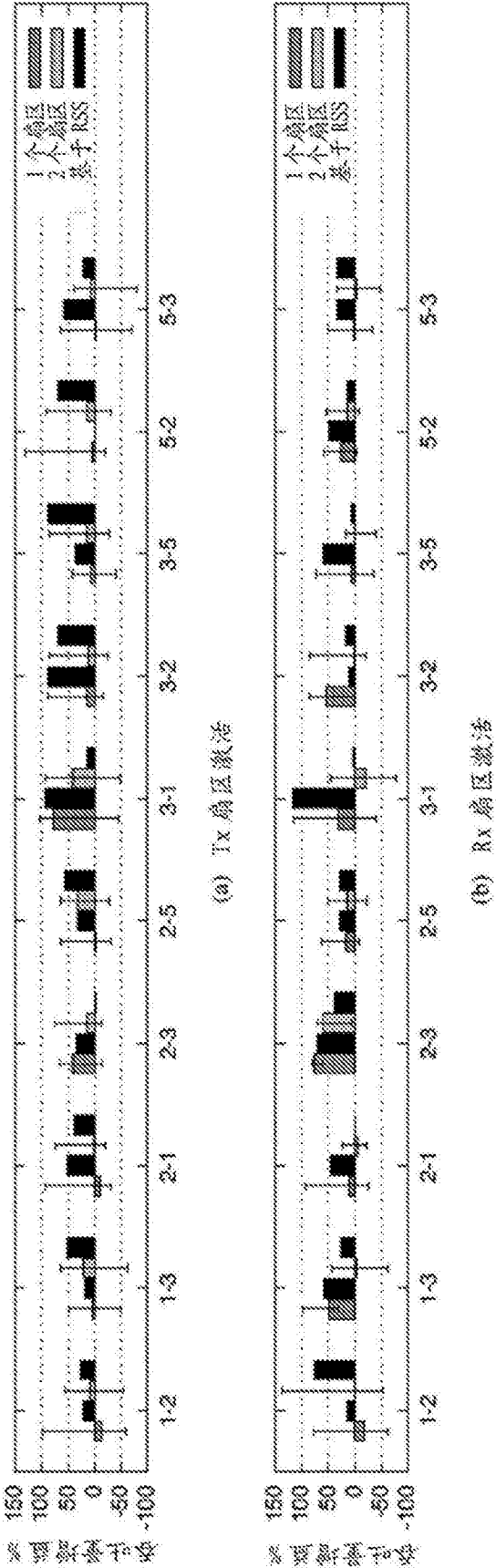


图7

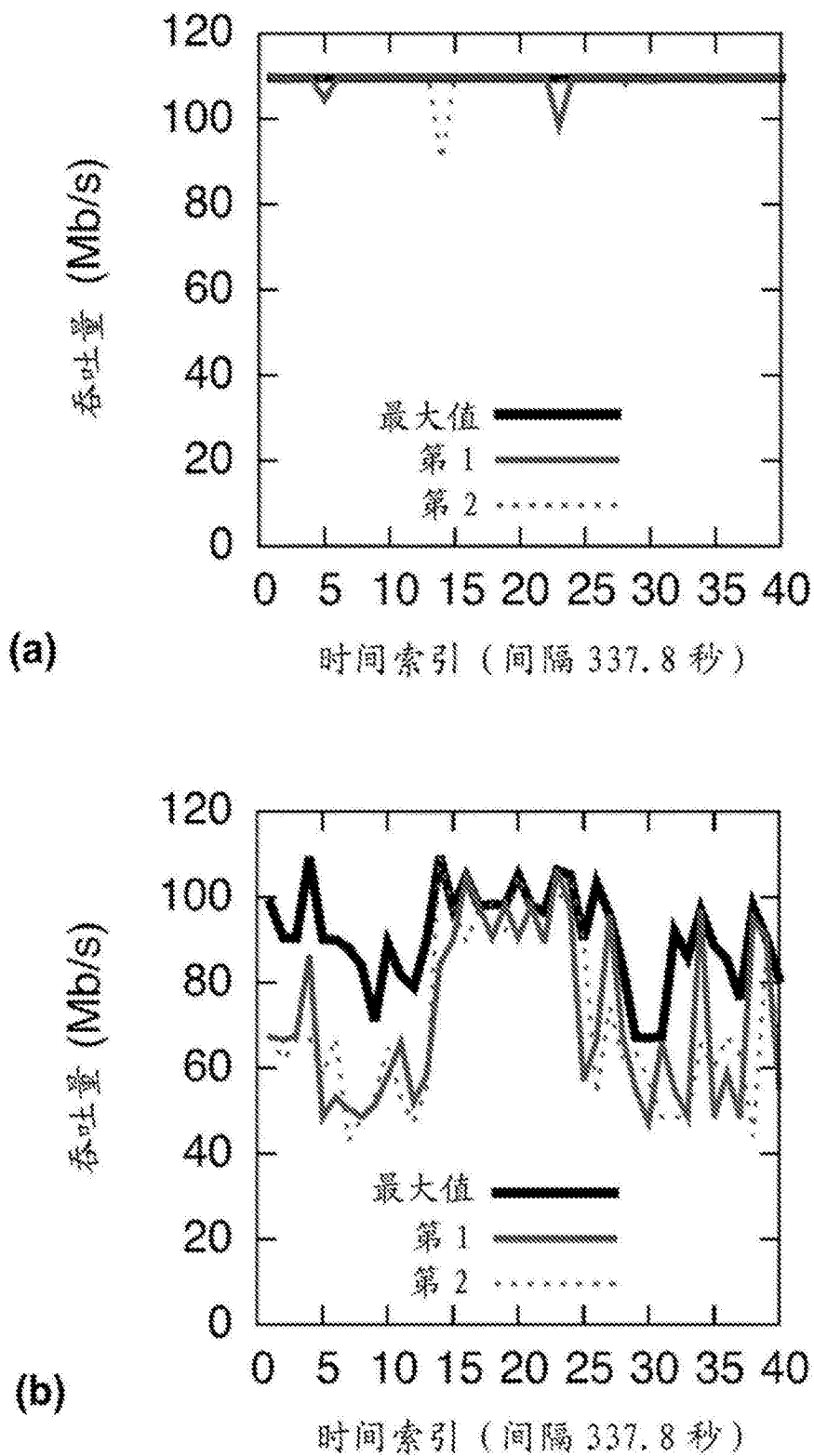


图8

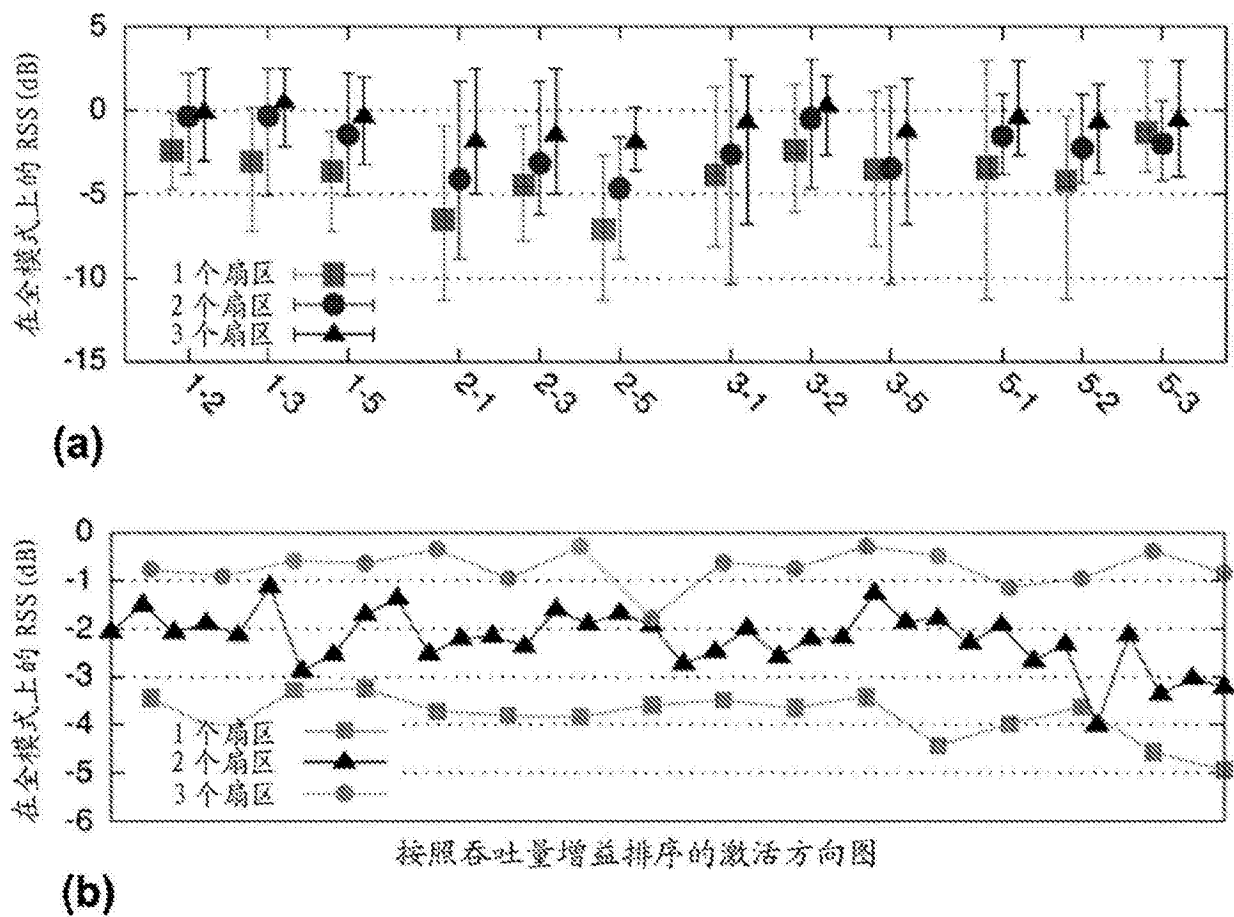


图9

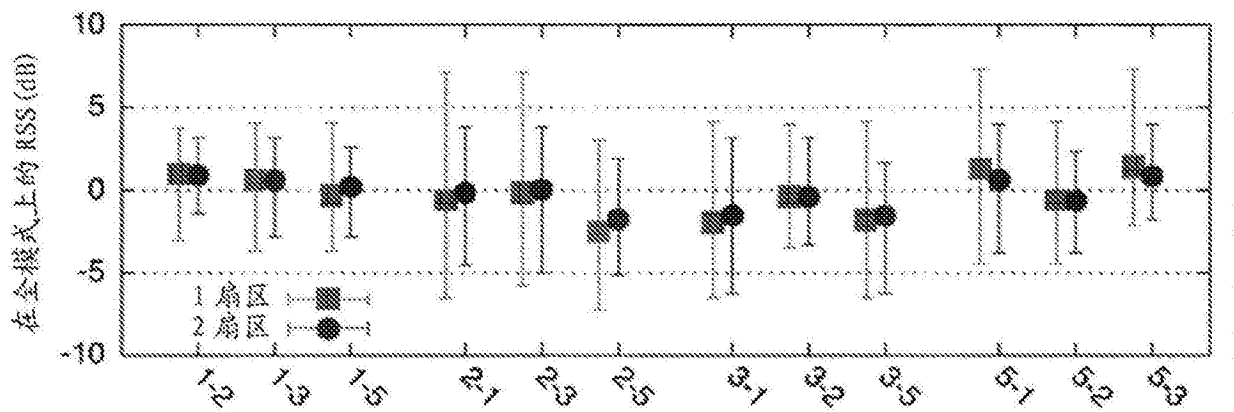


图10

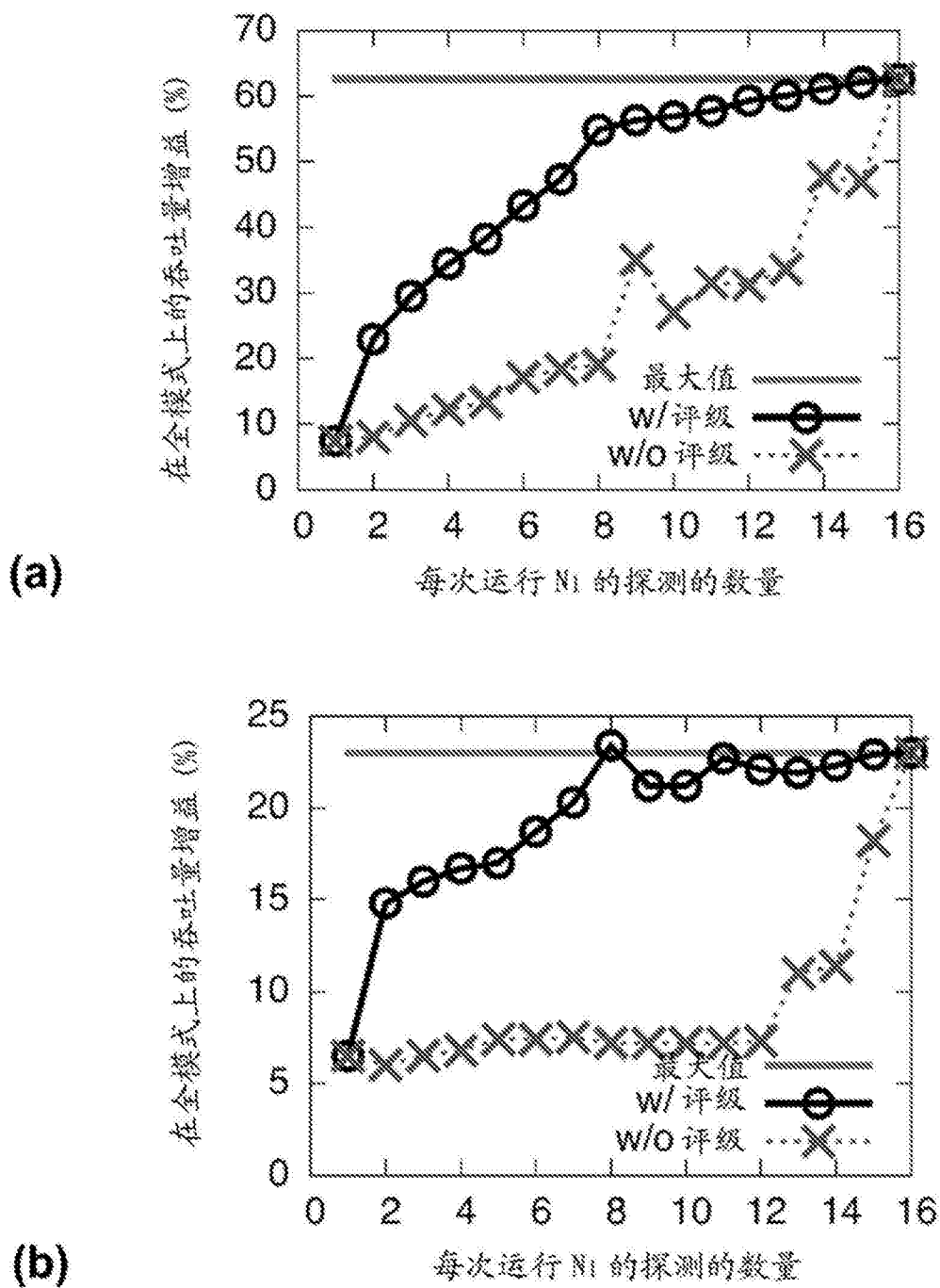


图11

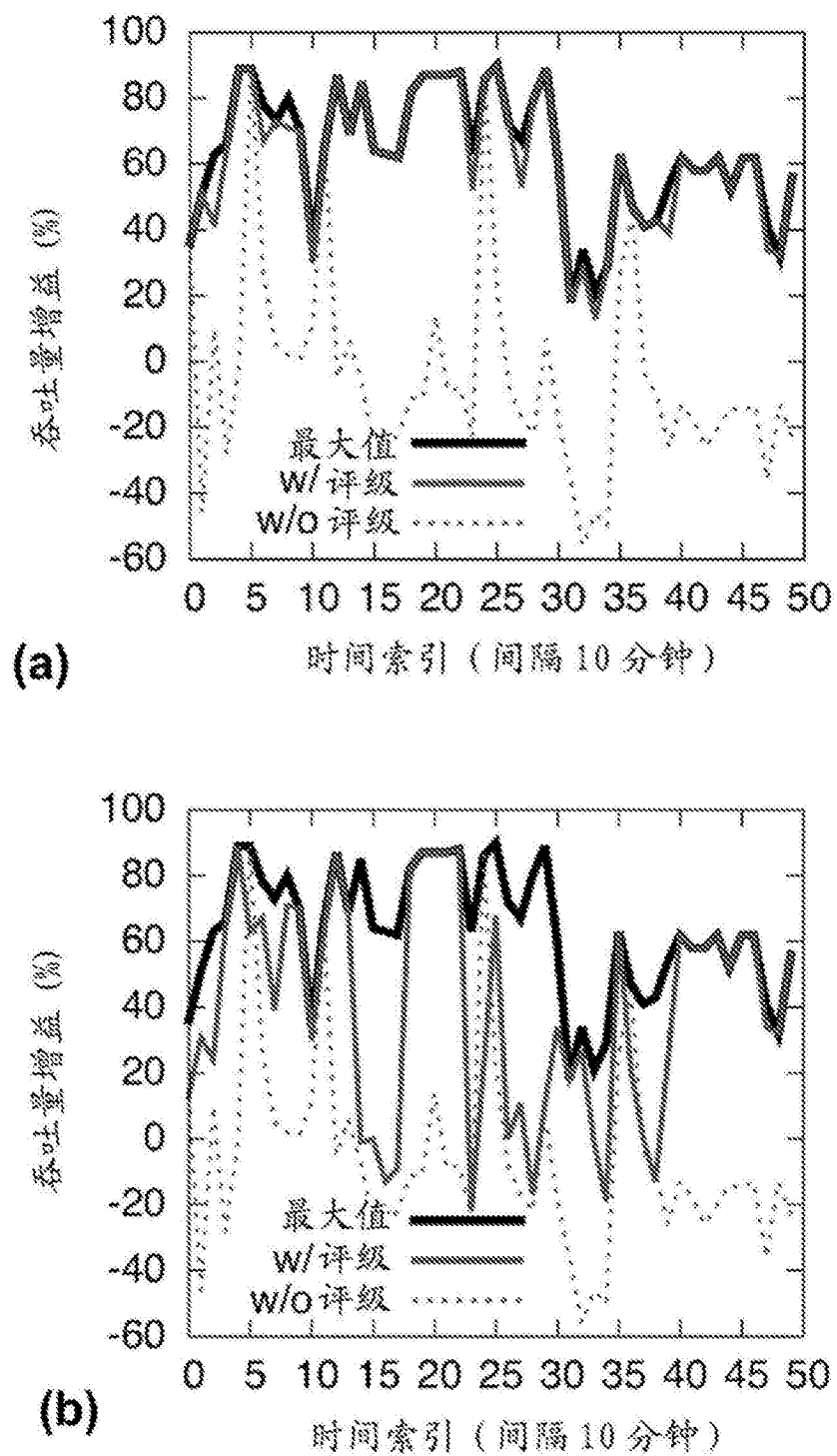


图12