



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110100391 B

(45) 授权公告日 2021.06.01

(21) 申请号 201680090094.3

(22) 申请日 2016.10.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110100391 A

(43) 申请公布日 2019.08.06

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.04.16

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2016/075849 2016.10.26

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/077405 EN 2018.05.03

(73) 专利权人 华为技术有限公司
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72) 发明人 陈俊挺 尹海帆
劳拉·古塔泰卢奇
大卫·让斯贝尔

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202
代理人 郝传鑫 熊永强

(51) Int.Cl.
H04B 7/0417 (2006.01)
H04B 7/0452 (2006.01)
H04B 7/06 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 103384161 A, 2013.11.06
US 2016255669 A1, 2016.09.01
US 2015171944 A1, 2015.06.18
审查员 李春青

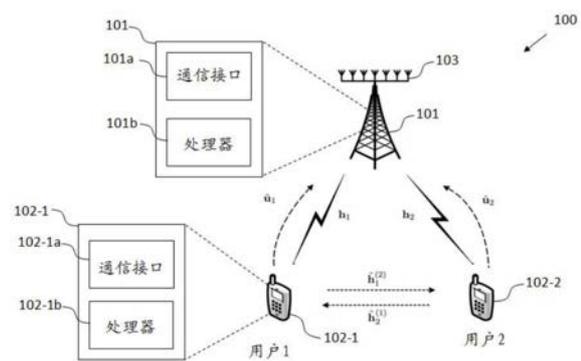
权利要求书4页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

用于与基站进行蜂窝通信以及进行设备到设备通信的用户通信设备和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于与基站(101)进行蜂窝通信以及至少一个其他用户通信设备(102-2)进行设备到设备通信的用户通信设备(102-1)。该用户通信设备(102-1)包括通信接口(102-1a)以及处理器(102-1b)。通信接口(102-1a)用于与基站(101)进行蜂窝通信以及经由其他用户通信设备(102-2)与用户通信设备(102-1)之间的设备到设备通信信道进行设备到设备通信,其中,与其他用户通信设备(102-2)进行设备到设备通信包括从其他通信设备(102-2)接收信道状态信息,其中,该信道状态信息包括其他用户通信设备(102-2)与基站(101)之间的蜂窝通信信道的信道状态信息。处理器(102-1b)用于基于其他用户通信设备(102-2)与用户通信设备(102-1)之间的设备到设备通信信道的质量测量,对反馈向量进行适配,并且用于经由通信接口(102-1a)向基站(101)提供关于经适配的反馈向量的信息。



1. 一种用户通信设备 (102-1), 用于与基站 (101) 进行蜂窝通信以及与至少一个其他用户通信设备 (102-2) 进行设备到设备通信, 其中, 所述用户通信设备 (102-1) 包括:

通信接口 (102-1a), 用于与所述基站 (101) 进行蜂窝通信, 以及用于经由所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的设备到设备通信信道进行设备到设备通信, 其中, 与所述其他用户通信设备 (102-2) 进行设备到设备通信包括从所述其他用户通信设备 (102-2) 接收信道状态信息, 其中, 所述信道状态信息包括所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述基站 (101) 之间的蜂窝通信信道的信道状态信息; 以及

处理器 (102-1b), 用于基于所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的质量测量, 对反馈向量进行适配, 并且用于经由所述通信接口 (102-1a) 向所述基站 (101) 提供关于经适配的反馈向量的信息;

其中, 所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述质量测量是所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} ;

其中, 所述处理器 (102-1b) 用于通过从反馈向量的码本确定反馈向量, 基于所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述信道状态信息的所述量化误差 σ_{kj} , 对所述反馈向量进行适配, 所述反馈向量满足以下等式:

$$\hat{\mathbf{u}}_k = \arg \max_{\mathbf{u} \in C} \frac{|\mathbf{h}_k^H \mathbf{u}|^2}{\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) |\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)H} \mathbf{u}|^2 + \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P}}$$

其中, $\hat{\mathbf{u}}_k$ 表示所述反馈向量, \mathbf{h}_k 表示所述用户通信设备的下行信道, $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 表示所述其他用户通信设备 j 所知的所述用户通信设备 k 的量化下行信道, K 表示用户通信设备的数量, P 表示所述基站 (101) 的总传输功率, C 表示码本。

2. 根据权利要求 1 所述的用户通信设备 (102-1), 其中, 如果所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述质量测量表明所述设备到设备通信信道是完美的, 则处理器 (102-1b) 用于使所述反馈向量适配预编码向量, 其中, 所述预编码向量由所述基站 (101) 应用以经由蜂窝通信信道与所述用户通信设备 (102-1) 进行通信。

3. 根据权利要求 1 所述的用户通信设备 (102-1), 其中, 如果所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述质量测量表明所述设备到设备通信信道不存在, 则处理器 (102-1b) 用于使所述反馈向量适配信道状态信息向量, 其中, 所述信道状态信息向量包括关于所述用户通信设备 (102-1) 与所述基站 (101) 之间的蜂窝通信信道的信息。

4. 根据权利要求 2 所述的用户通信设备 (102-1), 其中, 如果所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述质量测量表明所述设备到设备通信信道不存在, 则处理器 (102-1b) 用于使所述反馈向量适配信道状态信息向量, 其中, 所述信道状态信息向量包括关于所述用户通信设备 (102-1) 与所述基站 (101) 之间的蜂窝通信信道的信息。

5. 根据权利要求 1 至 4 任意一项所述的用户通信设备 (102-1), 其中, 所述处理器 (102-

1b) 用于通过经由所述通信接口 (102-1a) 向所述基站 (101) 提供索引, 以经由所述通信接口 (102-1a) 向所述基站 (101) 提供关于所述经适配的反馈向量的所述信息, 其中, 所述索引用于在所述反馈向量的码本中确定所述经适配的反馈向量。

6. 根据前述权利要求1-4中任一项所述的用户通信设备 (102-1), 其中, 所述通信接口 (102-1a) 用于使用带外模式进行设备到设备通信。

7. 根据前述权利要求5所述的用户通信设备 (102-1), 其中, 所述通信接口 (102-1a) 用于使用带外模式进行设备到设备通信。

8. 一种操作用户通信设备 (102-1) 的方法 (500), 所述用户通信设备 (102-1) 用于与基站 (101) 进行蜂窝通信以及与至少一个其他用户通信设备 (102-2) 进行设备到设备通信, 其中, 所述方法包括:

经由设备到设备通信信道从所述其他用户通信设备 (102-2) 接收 (501) 信道状态信息, 其中, 所述信道状态信息包括所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述基站 (101) 之间的蜂窝通信信道的信道状态信息;

基于所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的设备到设备通信信道的质量测量, 对反馈向量进行适配 (503); 以及

经由通信接口 (102-1a) 向所述基站 (101) 提供 (505) 关于经适配的反馈向量的信息;

其中, 所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述质量测量是所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} ;

其中, 通过从反馈向量的码本确定反馈向量, 基于所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述信道状态信息的所述量化误差 σ_{kj} , 对所述反馈向量进行适配, 所述反馈向量满足以下等式:

$$\hat{\mathbf{u}}_k = \arg \max_{\mathbf{u} \in C} \frac{|\mathbf{h}_k^H \mathbf{u}|^2}{\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) |\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)H} \mathbf{u}|^2 + \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P}}$$

其中, $\hat{\mathbf{u}}_k$ 表示所述反馈向量, \mathbf{h}_k 表示所述用户通信设备的下行信道, $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 表示所述其他用户通信设备 j 所知的所述用户通信设备 k 的量化下行信道, K 表示用户通信设备的数量, P 表示所述基站 (101) 的总传输功率, C 表示码本。

9. 一种基站 (101), 用于使用多个天线 (103) 与用户通信设备 (102-1) 和其他用户通信设备 (102-2) 进行蜂窝通信, 其中, 所述基站 (101) 包括:

通信接口 (101a), 用于使用预编码矩阵与所述用户通信设备 (102-1) 和所述其他用户通信设备 (102-2) 进行蜂窝通信; 以及

处理器 (101b), 用于基于所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的设备到设备通信信道的质量测量, 对所述预编码矩阵进行适配;

其中, 所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述质量测量是所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} ;

其中, 所述处理器 (101b) 用于基于所述其他用户通信设备 (102-2) 与所述用户通信设备 (102-1) 之间的所述设备到设备通信信道的所述信道状态信息的所述量化误差 σ_{kj} , 对所

述预编码矩阵进行适配,适配满足以下等式:

$$\mathbf{W} = \left[\hat{\mathbf{U}}\mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\})\hat{\mathbf{U}}^H + \left(s(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \right) \mathbf{I}_{N_t} \right]^{-1} \hat{\mathbf{U}}\Psi^{\frac{1}{2}},$$

其中

$$\mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) = (1 - 2^{-B/N_t}) \left(\Lambda(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \mathbf{I}_K \right)^2,$$

并且,

$$s(\{\sigma_{kj}\}) = 2^{-B/N_t} \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) + \frac{1}{N_t} \left(\sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P} \right) \left(K - 1 + \frac{K}{P} + \sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) \right) \right],$$

其中, \mathbf{W} 表示所述预编码矩阵, $\hat{\mathbf{U}}$ 表示由所述用户通信设备k和所述其他用户通信设备j提供的反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$ 定义的矩阵, K 表示用户通信设备的数量, P 表示所述基站(101)的总传输功率, \mathbf{I} 表示单位矩阵, N_t 表示所述基站的发射天线的数量, Ψ 表示用于相等功率分配的正对角矩阵,使得所述预编码矩阵 \mathbf{W} 的列具有相等的范数, σ_{kj} 表示所述其他用户通信设备j与所述用户通信设备k之间的设备到设备通信信道的信道状态信息的量化误差, B 表示比特速率。

10. 根据权利要求9所述的基站(101),其中,矩阵 \mathbf{T} 和函数 s 由以下等式定义:

$$\mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) = (1 - 2^{-B/N_t}) \left(\Lambda(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \mathbf{I}_K \right)^2$$

$$s(\{\sigma_{kj}\}) = 2^{-B/N_t} \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) + \frac{1}{N_t} \left(\sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P} \right) \left(K - 1 + \frac{K}{P} + \sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) \right) \right]$$

其中, Λ 表示对角矩阵,其中,第k个对角线元素由 $[\Lambda]_{(k,k)} = \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2$ 给出。

11. 根据权利要求10所述的基站(101),其中,由所述用户通信设备和所述其他用户通信设备提供的所述反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$ 是基于以下等式:

$$\hat{\mathbf{u}}_k = \arg \max_{\mathbf{u} \in \mathcal{C}} \frac{|\mathbf{h}_k^H \mathbf{u}|^2}{\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) |(\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)})^H \mathbf{u}|^2 + \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P}},$$

其中, \mathbf{h}_k 表示所述用户通信设备(102-1)的下行信道,以及 $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 表示所述其他用户通信设备j(102-2)所知的所述用户通信设备k(102-1)的量化下行信道。

12. 一种操作基站(101)的方法(600),所述基站(101)用于使用多个天线(103)与用户通信设备(102-1)和其他用户通信设备(102-2)进行蜂窝通信,其中,所述方法包括:

基于所述其他用户通信设备(102-2)与所述用户通信设备(102-1)之间的设备到设备通信信道的质量测量,对预编码矩阵进行适配(601);以及

使用所述预编码矩阵,与所述用户通信设备(102-1)和所述其他用户通信设备(102-2)进行通信(603);

其中,基于所述其他用户通信设备(102-2)与所述用户通信设备(102-1)之间的所述设备到设备通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} ,对所述预编码矩阵进行适配,适配满足以下等式:

$$\mathbf{W} = \left[\hat{\mathbf{U}} \mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) \hat{\mathbf{U}}^H + \left(s(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \right) \mathbf{I}_{N_t} \right]^{-1} \hat{\mathbf{U}} \Psi^{\frac{1}{2}},$$

其中

$$\mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) = \left(\mathbf{1} - 2^{-B/N_t} \right) \left(\Lambda(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \mathbf{I}_K \right)^2,$$

并且,

$$s(\{\sigma_{kj}\}) = 2^{-B/N_t} \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) + \frac{1}{N_t} \left(\sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P} \right) \left(K - 1 + \frac{K}{P} + \sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) \right) \right],$$

其中, \mathbf{W} 表示所述预编码矩阵, $\hat{\mathbf{U}}$ 表示由所述用户通信设备 k 和所述其他用户通信设备 j 提供的反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$ 定义的矩阵, K 表示用户通信设备的数量, P 表示所述基站(101)的总传输功率, \mathbf{I} 表示单位矩阵, N_t 表示所述基站的发射天线的数量, Ψ 表示用于相等功率分配的正对角矩阵, 使得所述预编码矩阵 \mathbf{W} 的列具有相等的范数, σ_{kj} 表示所述其他用户通信设备 j 与所述用户通信设备 k 之间的设备到设备通信信道的信道状态信息的量化误差, B 表示比特速率。

13. 一种计算机存储介质, 其中, 所述计算机存储介质存储的计算机程序包括程序代码, 用于在计算机上执行时执行权利要求8所述的方法或12所述的方法。

用于与基站进行蜂窝通信以及进行设备到设备通信的用户通信设备和方法

技术领域

[0001] 通常,本发明涉及无线通信领域。更具体地,本发明涉及用于与基站进行蜂窝通信以及与其他通信设备进行设备到设备通信的用户通信设备和方法以及相应的基站。

背景技术

[0002] 多输入多输出(multiple-input multiple-output,MIMO)是利用多个发射器和多个接收器以同时传输数据的无线通信技术。多输入多输出系统可以通过由大量天线提供的充足的空间自由度来实现大吞吐量。多输入多输出已成为诸如IEEE 802.11n(Wi-Fi)、IEEE 802.11ac(Wi-Fi)、和长期演进(long term evolution,即4G)的无线通信标准的基本要素,并且还将在5G(fifth generation)网络部署中发挥重要作用。

[0003] 为了实现这些性能优势,发射器需要瞬时信道状态信息(channel state information,CSI),瞬时信道状态信息可以表示为包含在快速时间尺度上变化的大量元素的向量。在频分复用(frequency division multiplexing,FDM)系统中,信道状态信息通常在用户通信设备处可用,因此,用户通信设备需要在每个时隙将信道状态信息反馈至发射器(例如,基站)。基于全局信道状态信息反馈(global CSI feedback),基站通过利用空间复用为所有用户通信设备计算预编码器,并且借助于这些预编码器,基站可以同时服务多个用户通信设备。这种反馈方案在本文中称为“信道状态信息反馈方案”。然而,因为上行资源是有限的,并且要适时服务的用户通信设备的数量可能很大,所以在多用户多输入多输出中的信道状态信息反馈方案具有挑战性。由此,每个用户通信设备可能仅被分配用于信道状态信息反馈的少量的比特。

[0004] 与蜂窝网络一致,设备到设备(device-to-device,D2D)通信是一种快速发展的技术,其允许用户通信设备彼此直接通信,而不必经由基站路由通信。D2D通信可以根据对频谱效率、服务质量、干扰水平、调度复杂度、资源分配等方面的不同要求以带内(in-band)模式或带外(out-band)模式实现。用户通信设备之间可以通过D2D通信共享信道状态信息,以改善由基站提供的蜂窝网络中的下行/上行传输。

[0005] 先前的一些研究(“Precoder Feedback versus Channel Feedback in Massive MIMO under User Cooperation”,J.Chen,H.Yin,L.Cottatellucci,D.Gesbert,Proc.Asilomar Conf on Signals,Systems,and Computers,2015年11月;“Enabling massive MIMO systems in the FDD mode thanks to D2D communications”,H.Yin,L.Cottatellucci,D.Gesbert,Proc.Asilomar Conf.on Signals,Systems,and Computers,Pacific Grove,CA,2014年11月;“Advanced massive MIMO algorithms,Phase 2report”,H.Yin,J.Chen,L.Cottatellucci和D.Gesbert,2015)研究了D2D通信系统在多输入多输出蜂窝网络的反馈和预编码设计中的应用。研究表明,在用户通信设备具有无限或完全的(perfect,也称“完美”,“理想”)D2D通信能力并且彼此之间完全地共享它们的信道状态信息的理想情况下,最好将预编码而不是信道状态信息作为反馈返回到基站。更具体

地,由于完全全局信道状态信息在每个用户通信设备处可用,每个用户通信设备自身可以计算预编码。研究证明,当用户通信设备具有用于向基站反馈的非常有限的比特数时,预编码反馈方案明显优于信道状态信息反馈方案。

[0006] 然而,上述理论研究的实际实施面临几个关键问题。第一,在现实系统中不容易实现高质量的设备到设备通信。在实践中,用户通信设备通常仅具有有限的设备到设备通信能力。第二,难以计算转折点(即,系统中可用的反馈比特的临界数量)并且难以确定何时从信道状态信息反馈方案切换到预编码反馈方案,反之亦然。直观地说,以有限速率共享的D2D的信道状态信息仍然会对系统有益,但目前的现有方案未能利用这一点。第三,现有方法与信道状态信息反馈方案不兼容。更具体地,现有方法与信道状态信息反馈方案不能在一个系统中使用,其中,一些用户具有D2D链路并且执行对基站的预编码反馈,而一些其他用户根本不具有D2D链路而因此必须执行对基站的信道状态信息反馈。

[0007] 首先,用户之间的信道状态信息交换通常并不完全。例如,当D2D通信质量差时,用户只能在D2D系统上以低数据速率发送信号,并且只能使用少量比特量化要交换的信道状态信息,造成大的失真。因此,考虑到有限的D2D的信道状态信息交换,期望的反馈和预编码策略应该对信道状态信息噪声具有鲁棒性。其次,用户可能体验到多样化的D2D质量,即一些用户对可以具有良好的D2D质量,而一些其他用户对可以具有差的D2D质量或根本不具有D2D通信。

[0008] 因此,鉴于上述情况,需要更实用和灵活的用户通信设备和基站以及相应的方法,该用户设备、基站、以及方法尤其能够改善不同的D2D通信能力下的多输入多输出蜂窝通信。

发明内容

[0009] 本发明的目的是提供一种更实用和灵活的用户通信设备和基站以及相应的方法,该用户设备、基站、以及方法尤其能够改善不同的D2D通信能力下的多输入多输出蜂窝通信。

[0010] 前述和其他目的可以由独立权利要求的主题实现。根据从属权利要求、说明书、和附图,进一步的实现形式是显而易见的。

[0011] 根据第一方面,本发明涉及一种用于与基站进行蜂窝通信以及与至少一个其他用户通信设备进行D2D通信的用户通信设备。该用户通信设备包括:通信接口和处理器。上述通信接口用于与基站进行蜂窝通信,以及用于经由其他用户通信设备与该用户通信设备之间的D2D通信信道进行D2D通信,其中,与其他用户通信设备进行D2D通信包括从其他用户通信设备接收信道状态信息,其中,该信道状态信息包括其他用户通信设备与基站之间的蜂窝通信信道的信道状态信息。上述处理器用于基于其他用户通信设备与该用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量,对反馈向量进行适配,并且用于经由通信接口向基站提供关于经适配的反馈向量的信息。

[0012] 因此,提供了更实用和灵活的用户通信设备,该用户通信设备尤其能够改善不同的D2D通信能力下的多输入多输出蜂窝通信。换句话说,根据本发明第一方面的具有或不具有D2D通信能力的用户通信设备可以共存并且可以实现(取决于D2D通信能力)比现有技术中的设备更好的数据速率。因此,本发明通过将信道状态信息反馈方案和启用D2D的预编码

反馈方案组合成鲁棒的并且自适应的反馈方案来缩小这两种方案之间的差距,有益于具有良好D2D通信能力的用户通信设备,同时不牺牲不具有D2D通信能力的用户通信设备的性能。

[0013] 在根据第一方面的用户通信设备的第一种可能的实现形式中,当其他用户通信设备与该用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量表明D2D通信信道是完美的时,处理器用于使反馈向量适配预编码向量,其中,该预编码向量由基站应用以经由蜂窝通信信道与用户通信设备进行通信。

[0014] 在根据第一方面或第一方面的第一实现形式的用户通信设备的第二可能的实现形式中,当其他用户通信设备与该用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量表明D2D通信信道不存在时,处理器用于使反馈向量适配信道状态信息向量或接近信道状态信息向量,其中,该信道状态信息向量包括关于该用户通信设备与基站之间的蜂窝通信信道的信息。

[0015] 在根据第一方面或第一方面的第一至第二实现形式中的任一形式的用户通信设备的第三可能的实现形式中,其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量是其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} 。

[0016] 在根据第一方面的第三实现形式的用户通信设备的第四可能的实现形式中,处理器用于基于其他用户通信设备与该用户通信设备之间的D2D通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} ,通过从反馈向量的码本确定反馈向量来对反馈向量进行适配,该反馈向量满足以下等式:

$$[0017] \quad \hat{\mathbf{u}}_k = \arg \max_{\mathbf{u} \in \mathcal{C}} \frac{|\mathbf{h}_k^H \mathbf{u}|^2}{\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) |(\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)})^H \mathbf{u}|^2 + \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P}}$$

[0018] 其中, $\hat{\mathbf{u}}_k$ 表示反馈向量, \mathbf{h}_k 表示用户通信设备的下行信道, $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 表示其他用户通信设备所知的用户通信设备的量化下行信道,K表示用户通信设备的数量,P表示基站的总传输功率。

[0019] 在根据第一方面的第四实现形式的用户通信设备的第五可能的实现形式中,处理器用于通过经由通信接口向基站提供索引,以经由通信接口向基站提供关于经适配的反馈向量的信息,其中,该索引用于在反馈向量的码本中确定经适配的反馈向量。

[0020] 在根据第一方面或第一方面的第一至第五实现形式中的任一形式的用户通信设备的第六可能的实现形式中,通信接口用于使用带外模式(out-band mode)进行D2D通信。

[0021] 根据第二方面,本发明涉及一种操作用户通信设备与基站进行蜂窝通信以及与至少一个其他用户通信设备进行D2D通信的方法。其中,该方法包括:经由D2D通信信道从其他通信设备接收信道状态信息,其中,该信道状态信息包括其他用户通信设备与基站之间的蜂窝通信信道的信道状态信息;基于其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量,对反馈向量进行适配;以及经由通信接口向基站提供关于经适配的反馈向量的信息。

[0022] 根据本发明第二方面的方法可以由根据本发明第一方面的用户通信设备执行。根据本发明第二方面的方法的其他特征由根据本发明第一方面及其不同的实现形式的用户

通信设备的功能直接得到。

[0023] 根据第三方面,本发明涉及一种用于使用多个天线与用户通信设备和其他用户通信设备进行蜂窝通信的基站。基站包括:通信接口以及处理器。通信接口用于使用预编码矩阵与用户通信设备和其他用户通信设备进行蜂窝通信。处理器用于基于其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量,对预编码矩阵进行适配。

[0024] 在根据第三方面的基站的第一种可能的实现形式中,其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量是其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} 。

[0025] 在根据第三方面的第一实现形式的基站的第二可能的实现形式中,处理器用于基于其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} ,基于以下等式对预编码矩阵进行适配:

$$[0026] \quad \mathbf{W} = \left[\hat{\mathbf{U}}\mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\})\hat{\mathbf{U}}^H + \left(s(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \right) \mathbf{I}_{N_t} \right]^{-1} \hat{\mathbf{U}}\Psi^{\frac{1}{2}}$$

[0027] 其中, \mathbf{W} 表示预编码矩阵, $\hat{\mathbf{U}}$ 表示由用户通信设备和其他用户通信设备提供的反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$ 定义的矩阵, K 表示用户通信设备的数量, P 表示基站的总传输功率, \mathbf{I} 表示单位矩阵, N_t 表示基站的发射天线的数量, Ψ 表示用于相等功率分配的正对角矩阵,使得预编码矩阵 \mathbf{W} 的列具有相等的范数,并且其中,矩阵 \mathbf{T} 和函数 s 由以下等式定义:

$$[0028] \quad \mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) = (1 - 2^{-B/N_t})(\Lambda(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P}\mathbf{I}_K)^2$$

$$[0029] \quad s(\{\sigma_{kj}\}) = 2^{-B/N_t} \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) + \frac{1}{N_t} \left(\sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P} \right) \left(K - 1 + \frac{K}{P} + \sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) \right) \right]$$

[0030] 其中, Λ 表示对角矩阵,其中,第 k 个对角线元素由 $[\Lambda]_{(k,k)} = \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2$ 给出。

[0031] 在根据第三方面的第二实现形式的基站的第三种可能的实现形式中,由用户通信设备和其他用户通信设备提供的反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$ 是基于以下等式:

$$[0032] \quad \hat{\mathbf{u}}_k = \arg \max_{\mathbf{u} \in \mathcal{C}} \frac{|\mathbf{h}_k^H \mathbf{u}|^2}{\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) |(\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)})^H \mathbf{u}|^2 + \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P}}$$

[0033] 其中, \mathbf{h}_k 表示用户通信设备的下行信道,以及 $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 表示其他用户通信设备所知的用户通信设备的量化下行信道。

[0034] 根据第四方面,本发明涉及一种操作基站以使用多个天线与用户通信设备和其他用户通信设备进行蜂窝通信的方法。其中,该方法包括:基于其他用户通信设备与用户通信设备之间的D2D通信信道的质量测量,对预编码矩阵进行适配;以及使用预编码矩阵,与用户通信设备和其他用户通信设备进行通信。

[0035] 根据本发明第四方面的方法可以由根据本发明第三方面的基站执行。根据本发明第四方面的方法的其他特征由根据本发明第三方面以及第三方面的不同的实现形式的基站的功能直接得到。

[0036] 根据第五方面,本发明涉及一种计算机程序,该计算机程序包括程序代码,当在计算机上执行时,该程序代码用于执行根据本发明第二方面的方法。

[0037] 本发明可以用硬件和/或软件实现。

附图说明

[0038] 将参照以下附图描述本发明的其他实施例,其中:

[0039] 图1示出了根据实施例的包括若干用户通信设备和基站的通信网络的示意图;

[0040] 图2示出了根据第一通信场景下的实施例的包括若干用户通信设备和基站的通信网络的示意图;

[0041] 图3示出了根据第二通信场景下的实施例的包括若干用户通信设备和基站的通信网络的示意图,其中,不存在一对用户通信设备之间的D2D通信链路;

[0042] 图4示出了根据第三通信场景下的实施例的包括若干用户通信设备和基站的通信网络的示意图,其中,不存在两对相应的用户通信设备之间的相应D2D通信链路;

[0043] 图5是示出根据实施例的操作用户通信设备的方法的示意图;以及

[0044] 图6是示出根据实施例的操作基站的方法的示意图。

[0045] 在各个附图中,相同的参考标号用于相同或至少功能上等等的特征。

具体实施方式

[0046] 在以下描述中,参考了附图,这些附图构成本公开的一部分,并且通过图示的方式示出了可以应用于本发明的特定方面。应当理解,在不脱离本发明保护范围的情况下,可以利用其他方面,并且可以进行结构或逻辑上的改变。因为本发明的保护范围由权利要求限定,因此以下详细描述不应被视为是限制性的。

[0047] 例如,应当理解,关于所描述方法的公开也适用于用于执行该方法的相应设备或系统,反之亦然。例如,如果描述了具体的方法步骤,则相应的设备可以包括执行所描述的方法步骤的单元,即使这样的单元没有明确地描述或在图中示出。

[0048] 此外,在以下详细描述以及权利要求中,描述了具有功能块或处理单元的实施例,这些功能块或处理单元之间相互连接或交换信号。应当理解,本发明还涵盖了包括附加功能块或处理单元的实施例,该附加功能块或处理单元放置在下述实施例的功能块或处理单元之间。

[0049] 最后,应当理解,除非有特别说明,否则本文描述的各种示例性方面的特征可以相互组合。

[0050] 图1示出了根据实施例的包括第一用户通信设备102-1和第二用户通信设备102-2以及多输入多输出基站101的通信网络100的示意图。用户通信设备102-1用于与基站101进行蜂窝通信以及用于与其他用户通信设备102-2进行D2D通信。蜂窝通信可以基于移动网络。在实施例中,D2D通信可以在与蜂窝通信相同的频段或不同的频段进行。

[0051] 可以以移动电话的形式实现的用户通信设备102-1和其他用户通信设备102-2代表多个(K个)用户通信设备。多输入多输出基站101为K个用户通信设备提供下行链路,该K个用户通信设备包括用户通信设备102-1和其他用户通信设备102-2。多输入多输出基站101可以包括 N_t 个天线103,并且用于服务K个单天线用户通信设备。在实施例中,假设每个

用户通信设备k知道其自己与基站的通信信道,即其信道状态信息(channel state information,CSI)(例如,基于传统的信道估计技术),信道状态信息可以用具有 N_t 个复元素的向量 h_k 表示,可以假设 N_t 个复元素遵循标准的独立同分布(independent and identically distributed)的复高斯分布(complex Gaussian distribution)。

[0052] 从图1所示的第一用户通信设备102-1的详细视图可以看出,第一用户通信设备102-1包括通信接口102-1a和处理器102-1b。

[0053] 通信接口102-1a用于与基站101进行蜂窝通信,以及用于经由其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道进行D2D通信,其中,与其他用户通信设备102-2进行D2D通信包括从其他用户通信设备102-2接收信道状态信息(CSI),其中,该信道状态信息包括其他用户通信设备102-2与基站101之间的蜂窝通信信道的信道状态信息。在实施例中,通信接口102-1a可以包括用于与基站101进行蜂窝通信的单独的蜂窝通信接口和用于与其他用户通信设备(例如,用户通信设备102-2)进行D2D通信的单独的D2D通信接口。

[0054] 用户通信设备102-1的处理器102-1b用于基于其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量(quality measure),对反馈向量(feedback vector)进行适配,并且用于经由通信接口向基站提供关于经适配的反馈向量的信息。

[0055] 在实施例中,其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量是其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的信道状态信息的量化误差 σ_{kj} 。

[0056] 在实施例中,如果其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量表明D2D通信信道是完美的(例如, $\sigma_{kj}=0$),则处理器102-1b用于使反馈向量适配预编码向量(precoder vector),其中,该预编码向量由基站101应用以经由蜂窝通信信道与用户通信设备102-1进行通信,将在下面进一步详细描述。

[0057] 在实施例中,如果其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量表明D2D通信信道不存在(例如, $\sigma_{kj}=1$),则处理器102-1b用于使反馈向量适配信道状态信息向量(channel state information vector),其中,该信道状态信息向量包括关于用户通信设备102-1与基站之间的蜂窝通信信道的信息。

[0058] 从图1所示的基站101的详细视图可以看出,基站101包括通信接口101a和处理器101b。基站101的通信接口101a用于使用预编码矩阵(precoder matrix)与用户通信设备102-1和其他用户通信设备102-2进行蜂窝通信。基站101的处理器101b用于基于其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量,对预编码矩阵进行适配,将在下面进一步详细描述。

[0059] 如上所述,与用户通信设备102-1、102-2与基站101之间的蜂窝通信并行,用户通信设备102-1和102-2用于建立用于相互之间直接传递信号的D2D通信链路。借助于D2D通信链路,用户通信设备102-1和102-2可以彼此直接共享它们各自的信道状态信息。在实施例中,用户通信设备102-1、102-2用于使用具有等于D2D通信链路容量的码率(即,用来表示通信信道 h_k 的量化版本的比特数)的量化来压缩它们各自的信道状态信息。更具体地,在实施例中,另一用户通信设备k所知的用户通信设备j的信道状态信息 \hat{h}_j 可以表示为 $\hat{h}_j^{(k)}$,并且被

建模为

$$[0060] \quad \mathbf{h}_j = \sqrt{1 - \sigma_{kj}^2} \hat{\mathbf{h}}_j^{(k)} + \sigma_{kj} \xi_j^{(k)},$$

[0061] 其中,如上所述, σ_{kj} 表示量化误差或D2D的信道状态信息噪声(即,由有限速率D2D通信引起的信道状态信息量化误差的方差),并且 $\xi_j^{(k)}$ 表示呈标准复高斯分布且与 $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 不相关的量化噪声。

[0062] 在信道状态信息共享之后,用户通信设备k具有以下形式的非完全全局信道状态信息 $\hat{\mathbf{H}}_k$ ($N_t \times K$ 矩阵):

$$[0063] \quad \hat{\mathbf{H}}_k = [\hat{\mathbf{h}}_1^{(k)}, \hat{\mathbf{h}}_2^{(k)}, \dots, \hat{\mathbf{h}}_{k-1}^{(k)}, \mathbf{h}_k, \hat{\mathbf{h}}_{k+1}^{(k)}, \dots, \hat{\mathbf{h}}_K^{(k)}]。$$

[0064] 用户通信设备102-1、102-2中的每个用户通信设备可以以B比特的速率向基站101提供反馈。在实施例中,用户通信设备102-1、102-2中的每个用户通信设备可以将包含 2^B 个条目的码本 C_k 中的一个条目的索引反馈给基站101。码本 C_k 的设计可以通过使用具有 N_t 维度的 2^B 个单位范数向量以均匀地分布在(pack on)嵌入 N_t 维空间的超球面上。在实践中,这可以使用随机向量近似实现:

$$[0065] \quad C_k = \{v_i : v_i = \xi_i / \|\xi_i\|, i = 1, 2, \dots, 2^B\},$$

[0066] 其中, ξ_i 是遵循标准 N_t 维复高斯分布的随机向量。

[0067] 基于来自用户通信设备102-1、102-2的反馈的总KB比特,基站101可以计算用于下行传输的预编码矩阵 W 。在用户通信设备102-1、102-2处接收的下行信号 $y = [y_1, y_2, \dots, y_K]^T$ 可以表示成:

$$[0068] \quad y = H^H W x + n,$$

[0069] 其中, x 表示包含K个用户通信设备分别的消息符号的K维向量, n 表示噪声。

[0070] 在实施例中,通过最小化以用户通信设备k的非完全全局信道状态信息 $\hat{\mathbf{H}}_k$ 为条件的如下均方误差来选择每个用户通信设备k的反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$:

$$[0071] \quad \text{tr}\{E\{(y - x)(y - x)^H | \hat{\mathbf{H}}_k\}\}。$$

[0072] 在基站101处,给定反馈 $\hat{\mathbf{U}} = [\hat{\mathbf{u}}_1, \hat{\mathbf{u}}_2, \dots, \hat{\mathbf{u}}_K]$,计算预编码矩阵以最小化条件均方误差:

$$[0073] \quad \text{tr}\{E\{(y - x)(y - x)^H | \hat{\mathbf{U}}\}\}。$$

[0074] 在实施例中,每个用户通信设备k向基站101反馈以下向量:

$$[0075] \quad \hat{\mathbf{u}}_k = \arg \max_{\mathbf{u} \in C} \frac{|\mathbf{h}_k^H \mathbf{u}|^2}{\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) |(\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)})^H \mathbf{u}|^2 + \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 \frac{K}{P}},$$

[0076] 其中, $\hat{\mathbf{u}}_k$ 表示反馈向量, j_k 表示用户通信设备k的下行信道, $\hat{\mathbf{h}}_j^{(k)}$ 表示用户通信设备j所知的用户通信设备k的量化下行信道, σ_{kj} 表示从用户通信设备j共享到用户通信设备k的D2D的信道状态信息的量化误差,K表示用户通信设备的总数,P表示基站101的总传输功率。

[0077] 在实施例中,基站101的处理器101b计算预编码如下:

$$[0078] \quad \mathbf{W} = \left[\hat{\mathbf{U}} \mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) \hat{\mathbf{U}}^H + \left(s(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \right) \mathbf{I}_{N_t} \right]^{-1} \hat{\mathbf{U}} \Psi^{\frac{1}{2}},$$

[0079] 其中

$$[0080] \quad \mathbf{T}(\{\sigma_{kj}\}) = \left(1 - 2^{-B/N_t} \right) \left(\Lambda(\{\sigma_{kj}\}) + \frac{K}{P} \mathbf{I}_K \right)^2,$$

[0081] 并且

$$s(\{\sigma_{kj}\}) = 2^{-B/N_t} \sum_{k=1}^K \left[\sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) + \frac{1}{N_t} \left(\sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2 + \frac{K}{P} \right) \left(K - 1 + \frac{K}{P} + \sum_{j \neq k} (1 - \sigma_{kj}^2) \right) \right],$$

[0082] 其中, \mathbf{W} 表示预编码矩阵, $\hat{\mathbf{U}}$ 表示由用户通信设备102-1和其他用户通信设备102-2提供的反馈向量 $\hat{\mathbf{u}}_k$ 定义的矩阵, K 表示用户通信设备的数量, P 表示基站的总传输功率, \mathbf{I} 表示单位矩阵, N_t 表示基站101的发射天线103的数量, Ψ 表示用于相等功率分配的正对角矩阵, 使得预编码矩阵 \mathbf{W} 的列具有相等的范数, 并且 Λ 表示对角矩阵, 其中, 第 k 个对角线元素由 $[\Lambda]_{(k,k)} = \sum_{j \neq k} \sigma_{kj}^2$ 给出。

[0083] 图2示出了根据第一通信场景下的实施例的包括第一用户通信设备102-1、第二用户通信设备102-2、第三用户通信设备102-3、和基站101的通信网络100的示意图。

[0084] 在图2所示的第一通信场景中, 所有用户通信设备102-1、102-2、和102-3都可以具有相同或相似的D2D质量, 即所有用户通信设备102-1、102-2、和102-3使用相同或相似的比特数来共享它们各自的信道状态信息, 并且它们之间共享的量化信道状态信息具有相同的量化误差 σ 。本发明实施例可以应用于更一般的场景, 其中, 不同数量的用户通信设备与不同的量化误差相关联。

[0085] 图3示出了第二通信场景中的图2所示的通信网络100的示意图。在第二通信场景中, 第一用户通信设备102-1与第二用户通信设备102-2之间共享的量化信道状态信息、以及第一用户通信设备102-1与第三用户通信设备102-3之间共享的量化信道状态信息可以具有相同或相似的D2D质量, 即第一用户通信设备102-1与第二用户通信设备102-2之间的量化信道状态信息、以及第一用户通信设备102-1与第三用户通信设备102-3之间的量化信道状态信息具有相同或相似的量化误差 σ 。然而, 在第二通信场景中, 不存在第二用户通信设备102-2与第三用户通信设备102-3之间的D2D通信链路。本发明的实施例也可以有益地处理第二场景。

[0086] 图4示出了第三通信场景中的图2和图3所示的通信网络100的示意图。在第三通信场景中, 第一用户通信设备102-1与第二用户通信设备102-2之间共享的量化信道状态信息可以具有量化误差 σ 。然而, 在第三通信场景中, 第三用户通信设备102-3不具有D2D通信能力, 即不存在第一用户通信设备102-1与第三用户通信设备102-3之间的D2D通信链路、以及第二用户通信设备102-2与第三用户通信设备102-3之间的D2D通信链路。本发明的实施例也可以有益地处理第三场景。

[0087] 图5示出了操作用户通信设备 (例如, 图1中所示的用户通信设备102-2) 以及与基站 (例如, 图1中所示的基站101) 进行蜂窝通信以及与至少一个其他用户通信设备 (例如, 图1中所示的用户通信设备102-2) 进行D2D通信的方法500的示意图。

[0088] 方法500包括第一步骤501: 经由D2D通信信道从其他通信设备102-2接收信道状态信息的, 其中, 该信道状态信息包括其他用户通信设备102-2与基站101之间的蜂窝通信信

道的信道状态信息。

[0089] 方法500包括第二步骤503:基于其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量,对反馈向量进行适配。

[0090] 最后,方法500包括第三步骤505:经由通信接口向基站101提供关于经适配的反馈向量的信息。

[0091] 图6示出了操作基站(例如,图1中的基站101)以使用多个天线(例如,图1中的天线103)与用户通信设备(例如,图1中的用户通信设备102-1)和其他用户通信设备(例如,图1中的其他用户通信设备102-2)进行蜂窝通信的方法600的示意图。

[0092] 方法600包括第一步骤601:基于其他用户通信设备102-2与用户通信设备102-1之间的D2D通信信道的质量测量,对预编码矩阵进行适配。

[0093] 方法600包括另一步骤603:使用预编码矩阵与用户通信设备102-1和其他用户通信设备102-2进行通信。

[0094] 在本发明的实施例中,所提方法通过平滑地调整基站的最小均方误差(minimum mean square error,MMSE)预编码方案和用户通信设备的最大信漏噪比(signal-to-leakage-and-noise ratio,SLNR)预编码方案来试图在这两种预编码方案之间取得平衡。

[0095] 应当理解,在具有用户通信设备之间的完全信道状态信息共享以及从用户通信设备到基站的完全(无限速率)反馈的理想情况下,基站处的最小均方误差预编码和用户通信设备处的最大信漏噪比预编码是等同的。然而,在具有用户通信设备之间的完全信道状态信息共享以及从用户通信设备到基站的非完全(有限速率)反馈的情况下,用户通信设备处的最大信漏噪比预编码可以实现比基站处的最小均方误差预编码更高的吞吐量。

[0096] 虽然仅针对若干实施方式或实施例中的一个公开了本公开的特定特征或方面,但这些特征或方面可以与任何给定或特定应用所期望的或对其可能有利的其他实施方式或实施例中的一个或多个其他特征或方面结合。此外,在详细说明或权利要求中使用术语“包括”、“具有”、“有”或其变形的范围内,这类术语旨在以与术语“包括”类似的方式包括在内。此外,术语“示例的”、“例如”、和“例”仅仅意味着作为示例,而不是最好的或最优的。可能使用了术语“耦合”和“连接”及其衍生词。应当理解,这些术语可以用于表示两个元件彼此协作或相互作用,无论它们是直接物理接触、还是电接触、或者它们彼此不直接接触。

[0097] 尽管这里已说明和描述了具体方面,本领域普通技术人员将理解,在不脱离本申请的范围的情况下,可以用各种替代和/或等效实施方式代替所示出和描述的特定方面。本申请旨在涵盖本文讨论的具体方面的任何改编或变化。

[0098] 尽管以具有相应标记的特定顺序描述了权利要求中的元素,但是除非权利要求的表述暗指了用于实现部分或全部这些元素的特定顺序,否则这些元素不一定被限于以特定的顺序实现。

[0099] 根据上述启示,许多替换、修改、和变化对于本领域技术人员来说是显而易见的。当然,本领域技术人员容易认识到,除了本文所描述的应用之外,还有很多本申请的应用。虽然本发明是结合一个或多个特定实施例描述的,但本领域技术人员需了解,在不脱离本申请保护范围的情况下,可以对本申请进行多种改变。因此,应理解,在权利要求及其等同的保护范围内,本申请可以以不同于本文具体描述的方式实施。

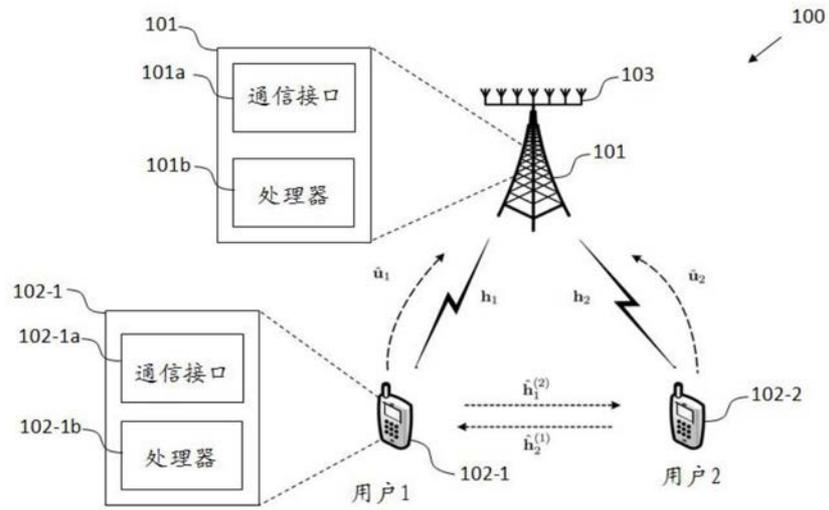


图1

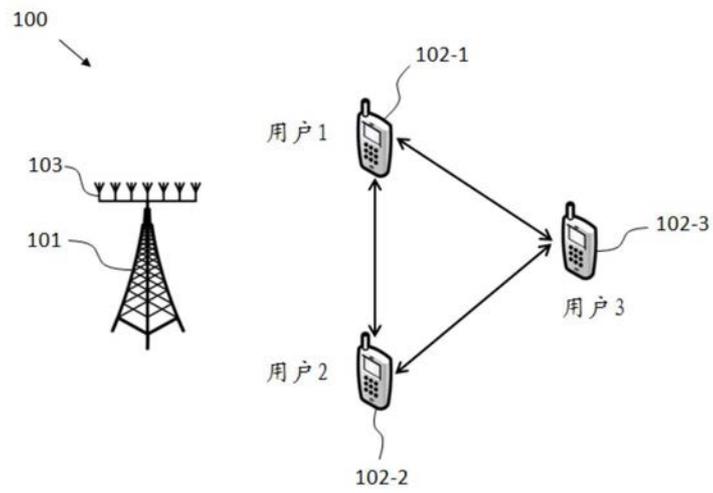


图2

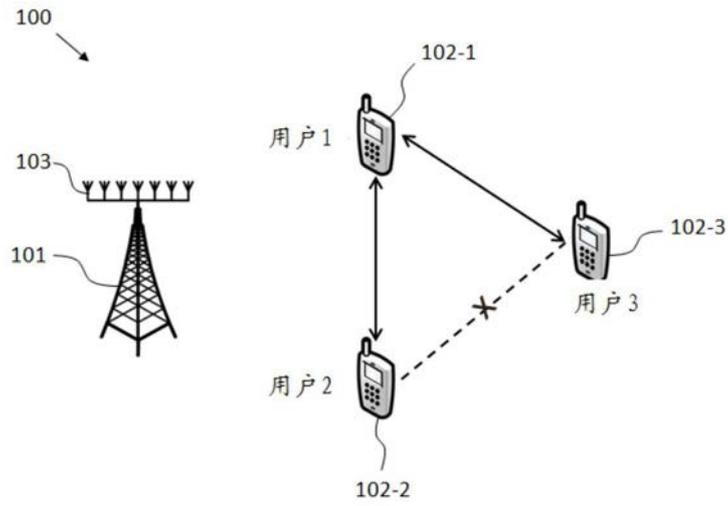


图3

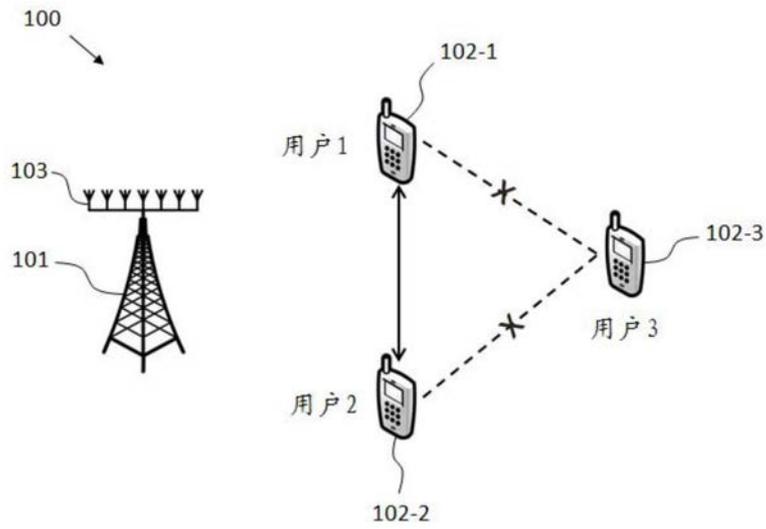


图4

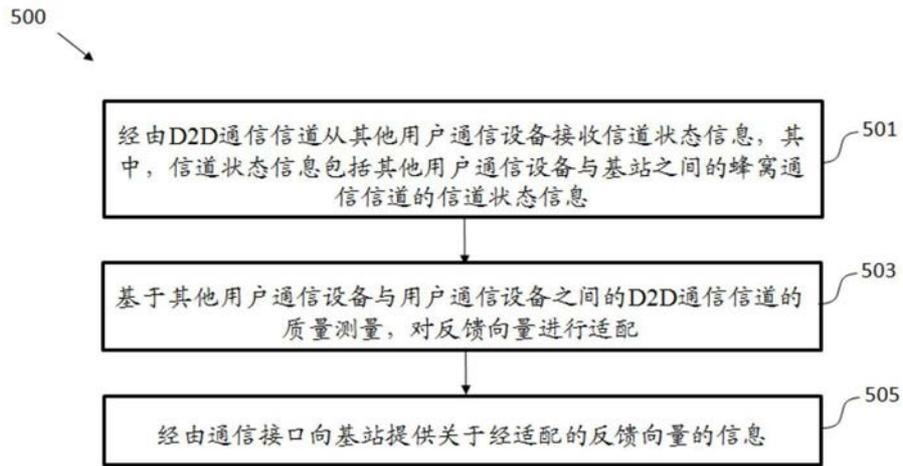


图5

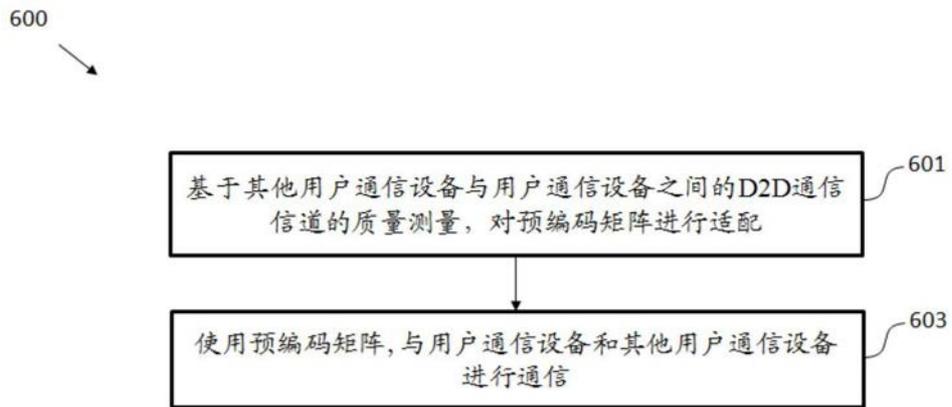


图6