



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108476185 B

(45) 授权公告日 2021.01.08

(21) 申请号 201680057779.8

(22) 申请日 2016.09.22

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108476185 A

(43) 申请公布日 2018.08.31

(30) 优先权数据  
15306583.4 2015.10.08 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2018.04.03

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2016/072484 2016.09.22

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02017/060093 EN 2017.04.13

(73) 专利权人 阿尔卡特朗讯  
地址 法国布洛涅-比扬古

(72) 发明人 S·韦泽曼

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所  
11256

代理人 鄢迅

(51) Int.Cl.  
H04L 25/497 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 103001676 A, 2013.03.27  
CN 103873125 A, 2014.06.18  
CN 101710851 A, 2010.05.19  
US 2014219377 A1, 2014.08.07  
US 2008240278 A1, 2008.10.02  
Dan Li et al..pilot-assisted channel estimation method for ofdma systems over time-varying channells.《IEEE COMMUNICATIONS LETTERS》.2009,第13卷(第11期),

审查员 陈沁

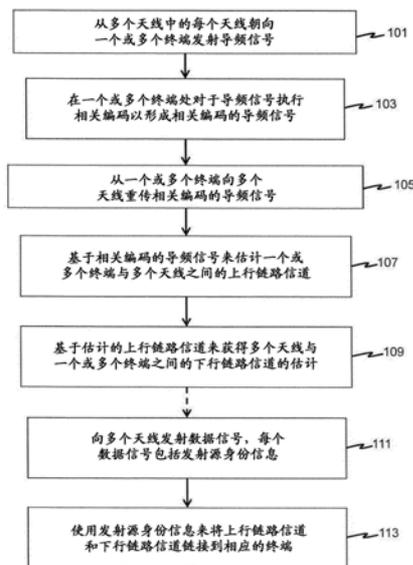
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

无线通信系统中的信道估计方法、通信单元、终端和通信系统

(57) 摘要

本发明涉及一种用于无线通信系统中的信道估计的方法。通信系统包括被提供有多个天线的通信单元以及一个或多个终端。首先,从每个天线朝向一个或多个终端发射导频信号。在终端处,对发射的导频信号执行相关编码以形成相关编码的导频信号。然后从一个或多个终端向通信单元的多个天线重传相关编码的导频信号。通信单元然后基于相关编码的导频信号来估计一个或多个终端与多个天线之间的上行链路信道。最后,基于所估计的上行链路信道来获得对多个天线与一个或多个终端之间的下行链路信道的估计。



1. 一种用于在无线通信系统中的信道估计的方法,所述无线通信系统包括通信单元和一个或多个终端,其中所述通信单元包括多个天线,所述方法包括:

-从所述多个天线中的每个天线朝向所述一个或多个终端发射导频信号;

-在所述一个或多个终端处对发射的所述导频信号执行相关编码以形成相关编码的导频信号,如果所述一个或多个终端包括多于一个天线,则所述相关编码的导频信号被提供有终端特定的相关签名或天线特定的相关签名;

-从所述一个或多个终端向所述多个天线重传所述相关编码的导频信号;

-基于所述相关编码的导频信号来估计所述一个或多个终端与所述多个天线之间的上行链路信道;以及

-基于估计的所述上行链路信道来获得对所述多个天线与所述一个或多个终端之间的下行链路信道的估计。

2. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

-从所述一个或多个终端向所述多个天线发射数据信号,每个数据信号包括与所述数据信号所源自的发射源的身份相关的信息;以及

-使用所述发射源身份信息将上行链路信道和下行链路信道链接到相应的终端。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中如果所述一个或多个终端被提供有单个天线,则所述发射源身份信息是终端特定的信息,或者如果所述一个或多个终端被提供有多于一个天线,则所述发射源身份信息是天线特定的信息。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法,其中相关编码包括通过自回归模型来对接收的导频信号进行滤波。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述自回归模型是1阶自回归模型。

6. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法,其中相关编码包括对所述导频信号执行循环卷积操作。

7. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法,其中估计所述一个或多个用户终端与所述多个天线之间的上行链路信道利用二阶盲标识算法。

8. 一种用于与通信系统中的一个或多个终端(UE1-UE4; SC1-SC2)的通信的通信单元(10;50),所述通信单元包括:

-多个天线(30-1, ..., 30-m; 70-1, ..., 70-m); 以及

-至少一个信道估计模块(20;60);

其中所述通信单元被配置为:

-从所述多个天线中的每个天线朝向所述通信系统中的所述一个或多个终端发射导频信号;

-在所述多个天线处从所述一个或多个终端接收相关编码的导频信号,如果所述一个或多个终端包括多于一个天线,则所述相关编码的导频信号被提供有终端特定的相关签名或天线特定的相关签名;

-由所述至少一个信道估计模块基于编码的所述导频信号来估计所述一个或多个终端与所述多个天线之间的上行链路信道; 以及

-由所述至少一个信道估计模块基于估计的所述上行链路信道来获得对所述多个天线与所述一个或多个用户终端之间的下行链路信道的估计。

9. 根据权利要求8所述的通信单元,其中所述通信单元进一步包括至少一个解码模块(25;65),并且其中所述通信单元进一步被配置为:

-经由所述多个天线从所述一个或多个终端接收数据信号,所述数据信号包括与所述数据信号所源自的发射源的身份相关的信息;以及

-由所述至少一个信道解码模块(25;65)使用接收的所述发射源身份信息来将上行链路信道和下行链路信道链接到相应的终端。

10. 根据权利要求8或9所述的通信单元,其中所述至少一个信道估计模块被配置为通过利用二阶盲标识算法来估计所述上行链路信道。

11. 一种用于与通信系统中的被提供有多个天线(30-1, ..., 30m; 70-1, ..., 70-m)的通信单元(10;50)的通信的终端(UE1-UE4; SC1-SC4),所述终端包括:

-收发器,用于分别从所述通信单元的所述多个天线接收信号和向所述通信单元的所述多个天线发射信号;以及

-编码单元(40;90);

其中所述终端被配置为:

-接收从所述多个天线中的每个天线发射的导频信号;

-使用所述编码单元对接收的所述导频信号执行相关编码以形成相关编码的导频信号,如果一个或多个终端包括多于一个天线,则所述相关编码的导频信号被提供有终端特定的相关签名或天线特定的相关签名;以及

-向所述多个天线重传编码的所述导频信号,由此使得所述通信单元基于编码的所述导频信号来估计上行链路信道并且基于估计的所述上行链路信道来获得对下行链路信道的估计。

12. 根据权利要求11所述的终端,进一步被配置为向所述多个天线发射数据信号,所述数据信号包括与所述数据信号所源自的发射源的身份相关的信息。

13. 根据权利要求11或12所述的终端,其中由所述编码单元执行的相关编码包括通过自回归模型对接收的导频信号进行滤波。

14. 根据权利要求11或12所述的终端,其中所述终端是用户终端(UE1-UE4)。

15. 根据权利要求11或12所述的终端,其中所述终端是中继站(SC1-SC4)。

16. 一种通信系统,包括根据权利要求8至10中任一项所述的通信单元和一个或多个根据权利要求11至15中任一项所述的终端。

## 无线通信系统中的信道估计方法、通信单元、终端和通信系统

### 技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及一种用于在无线通信系统中的信道估计的方法,该无线通信系统包括通信单元和一个或多个终端。本发明的实施例还涉及一种用于与通信系统中的一个或多个终端的通信的通信单元。本发明的实施例还涉及一种用于与通信系统中的被提供有多个天线的通信单元的通信的终端。最后,本发明的实施例涉及包括通信单元和一个或多个终端的通信系统。

### 背景技术

[0002] 本部分介绍可以有助于更好地理解本发明的各方面。因此,本部分的陈述应当鉴于此来阅读,而不应当被理解为对本领域已知的内容的认可。

[0003] 在大规模多输入多输出 (MIMO) 通信系统中,大规模MIMO中心节点(有时也称为大规模MIMO基站)被提供有天线阵列,天线阵列包括用于使用空间复用在相同的时间/频率资源上服务于多个(例如,K个)终端的多个(例如,M个)天线。在大规模MIMO通信系统中成功操作复用操作的关键因素涉及获得足够准确的信道状态信息 (CSI)。特别地,大规模MIMO基站需要获得其M个天线中的每个天线与K个终端中的每个终端之间的传播信道的频率响应的足够准确的估计。

[0004] 对于采用时分双工 (TDD) 的大规模MIMO通信系统来说,获得这样的CSI相对容易,其中相同的频带被用于上行链路和下行链路数据发射两者。可以通过K个终端对正交导频序列到M个基站天线的同时发射来获取CSI,由此估计M个基站天线中的每个和K个终端中的每个之间的上行链路传播信道状态。由于互易性,上行链路信道等于下行链路信道。采样持续时间与基站天线的数目无关,并且执行训练方案以获得所需要的传播信道状态估计是相对较快的,因为K个终端的整个过程需要K个资源采样,并且在典型的MIMO系统中,终端的数目与基站天线的数目相比相对较低。

[0005] 然而,在欧洲和北美,大多数无线通信系统使用频分双工 (FDD) 来操作,其中上行链路信道和下行链路信道通常位于不同的频带中。在FDD下,上行链路正交导频序列的发射仍然足以使MIMO基站估计上行链路传播信道的状态。然而,MIMO基站需要另外的方法来获得下行链路传播信道的状态的足够准确的估计,这通常是耗时的。

[0006] 考虑到具有M个基站天线和K个单天线终端的系统,已知的用于获得下行CSI的方式是K个终端朝向M个基站天线发送导频信号,这使得MIMO基站能够获得上行链路信道的CSI。另外,为了获得下行链路CSI,M个基站天线在下行链路上同时发射正交导频序列,并且K个终端中的每个通过传播信道接收导频组合。然后,每个终端实时地同时在上行链路上将其接收的模拟复合导频信号发射回基站。通过信号处理及其对上行链路信道的了解,基站然后可以可靠地估计下行链路信道状态。整个过程需要至少 $2M+K$ 个资源采样。由于基站天线的数目M通常远高于大规模MIMO系统中的终端K的数目,因此获得采用FDD的MIMO系统中的上行链路和下行链路传播信道的可靠的CSI比获得采用TDD的MIMO系统中的这样的CSI要麻烦得多。

[0007] 由Li等人在IEEE Communications Letters的第13卷的第11期的第826-828页中发表的题为“Pilot-Assisted Channel Estimation Method for OFDMA Systems over Time-Varying Channels”的文章描述了对于所涉及的每个用户用时间频率块以线性模型来近似一个符号周期中的频域发射函数的时间变化。

[0008] 美国专利申请公开号2014/0219377描述了用于超大规模MIMO系统的信道估计,其中发射器包括间隔开的多个天线,使得相邻天线之间的间隔提供大于门限水平的空间相关系数。发射器选择用于向接收器发射导频参考信号的发射天线的子集。导频参考信号仅从所选择的子集来发射。接收器包括被配置为使用所接收的导频参考信号以及发射天线之间的已知或估计的空间相关来导出所有发射天线的信道估计的信道估计器。

[0009] 希望减少获得FDD系统中的CSI的时间,特别是对于具有相对较大数目的终端的MIMO系统。

## 发明内容

[0010] 本发明的实施例的目的是减少获得信道状态信息的时间,特别是对于具有相对较大数目的终端并且采用FDD的MIMO系统。为此目的,本发明的实施例涉及一种用于在无线通信系统中的信道估计的方法,该无线通信系统包括通信单元和一个或多个终端的,其中通信单元包括多个天线,该方法包括:从多个天线中的每个天线朝向一个或多个终端发射导频信号;在一个或多个终端处对发射的导频信号执行相关编码以形成相关编码的导频信号,如果一个或多个终端包括多于一个天线,则相关编码的导频信号被提供有终端特定的相关签名或天线特定的相关签名;从一个或多个终端向多个天线重传相关编码的导频信号;基于相关编码的导频信号来估计一个或多个终端与多个天线之间的上行链路信道;以及基于所估计的上行链路信道来获得对多个天线与一个或多个终端之间的下行链路信道的估计。在包括M个天线和K个终端的通信系统中,这个估计方法需要最少 $2M$ 个资源样本。因此,该方法独立于K,并且因此对于包括被配置为由通信单元服务的相对大量的终端的通信系统而言是具有高度吸引力的。

[0011] 上述方法导致对上行链路信道的估计以及针对在终端索引的未知置换之前(或者在终端相对于天线索引具有多于一个天线的情况下)充分已知的下行链路信道而获得的估计。虽然足够用于下行链路中的诸如广播传输等各个终端使用共轭波束形成的场景,但是这种不明确性可能在一些其他场景中引起问题。为此目的,在一些实施例中,该方法还包括从一个或多个终端向多个天线发射数据信号,每个数据信号包括与数据信号所源自的发射源的身份相关的信息;以及使用发射源身份信息将上行链路信道和下行链路信道链接到相应的终端。如果一个或多个终端设置有单个天线,则发射源身份信息可以是终端特定的信息,或者如果一个或多个终端设置有多于一个天线,则发射源身份信息可以是天线特定的信息。

[0012] 在一些实施例中,相关编码包括通过自回归模型、优选地是1阶自回归模型来对所接收的导频信号进行滤波。这种自回归模型、特别是1阶自回归模型容易实现。它在创建频谱多样性方面相对简单且高效。

[0013] 在一些其他实施例中,相关编码包括对导频信号执行循环卷积操作。对导频信号执行循环卷积操作可以实现协方差矩阵估计准确度的提高,并且因此可以导致提高的性

能。

[0014] 在一些实施例中,估计一个或多个用户终端与多个天线之间的上行链路信道利用二阶盲标识算法。二阶盲标识算法在本领域中是已知的,并且因此相对容易实现。

[0015] 另外,本发明的实施例涉及用于与通信系统中的一个或多个终端的通信的通信单元,通信单元包括:多个天线;以及至少一个信道估计模块;其中通信单元被配置为:从多个天线中的每个天线朝向通信系统中的一个或多个终端发射导频信号;在多个天线处从一个或多个终端接收相关编码的导频信号,如果一个或多个终端包括多于一个天线,则相关编码的导频信号被提供有终端特定的相关签名或天线特定的相关签名;由至少一个信道估计模块基于编码的导频信号来估计一个或多个终端与多个天线之间的上行链路信道;以及由至少一个信道估计模块基于所估计的上行链路信道来获得对多个天线与一个或多个用户终端之间的下行链路信道的估计。

[0016] 在一些实施例中,由于以上阐述的原因,通信单元进一步包括解码模块,并且进一步被配置为:经由多个天线从一个或多个终端接收数据信号,数据信号包括与数据信号所源自的发射源的身份相关的信息;以及由至少一个解码模块使用所接收的发射源身份信息来将上行链路信道和下行链路信道链接到相应的终端。

[0017] 在一些实施例中,至少一个信道估计模块被配置为通过利用二阶盲标识算法来估计上行链路信道。

[0018] 另外,本发明的实施例涉及用于与通信系统中的设置有多个天线的通信单元的通信的终端,终端包括:用于分别从通信单元的多个天线接收信号和向通信单元的多个天线发射信号的收发器;以及编码单元;其中终端被配置为:接收从多个天线中的每个天线发射的导频信号;使用编码单元对所接收的导频信号执行相关编码以形成相关编码的导频信号,如果终端包括多于一个天线,则相关编码的导频信号被提供有终端特定的相关签名或天线特定的相关签名;并且向多个天线重传相关编码的导频信号,由此使得通信单元能够基于编码的导频信号来估计上行链路信道,并且基于所估计的上行链路信道来获得对下行链路信道的估计。

[0019] 在一些实施例中,由于先前阐述的原因,终端还可以被配置为向多个天线发射数据信号,数据信号包括与数据信号所源自的发射源的身份相关的信息。

[0020] 在一些实施例中,由编码单元执行的相关编码包括通过自回归模型对所接收的导频信号进行滤波。

[0021] 根据权利要求10至12中任一项所述的终端,其中终端是用户终端。或者,终端可以是中继站。

[0022] 最后,本发明的实施例涉及包括上述通信单元的实施例和一个或多个上述终端的实施例的通信系统。

## 附图说明

[0023] 现在将参考附图进一步描述本发明的实施例,在附图中:

[0024] 图1示意性地示出了其中可以实现本发明的实施例的通信网络的示例;

[0025] 图2示意性地示出了其中可以实现本发明的实施例的通信网络的另一示例;

[0026] 图3示意性地示出了根据本发明实施例的用于无线通信系统中的信道估计的方法

的流程图。

### 具体实施方式

[0027] 说明书和附图仅仅说明了本发明的原理。应当理解,本领域技术人员将能够设计尽管在本文中并没有明确地描述或示出但是实施本发明的原理的各种布置。此外,本文中叙述的所有示例主要旨在明确地帮助读者理解本发明的原理并且应当被构建为不限于这样的具体记载的示例和条件。此外,本文中阐述本发明的原理、方面和实施例以及其具体示例的所有陈述旨在涵盖其等同物。

[0028] 在以下描述中,将参考可以被实现为程序模块或功能过程的动作和操作的符号表示(例如,以流程图的形式)来描述说明性实施例,程序模块或功能过程包括在被执行时执行特定任务或实现特定抽象数据类型并且可以使用现有网络元件处的现有硬件来实现的例程、程序、对象、组件、数据结构等。这样的现有硬件可以包括一旦被编程则变成特定机器的一个或多个中央处理单元(CPU)、数字信号处理器(DSP)、片上系统(SOC)设备、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)计算机等。在至少一些情况下,CPU、SOC、DSP、ASIC和FPGA通常可以被称为处理电路、处理器和/或微处理器。

[0029] 本文中描述的各种模块因此可以用被设计成执行本文中描述的功能的通用处理器、DSP、ASIC、FPGA或其他可编程逻辑器件、分立门或晶体管逻辑、分立硬件组件或其任何组合来实现或执行。此外,各种模块的功能可以直接实施为硬件、由处理器执行的软件模块或两者的组合。

[0030] 可以理解,本文中描述的“终端”和“基站”还可以包括存储器。存储器可以包括本领域已知的任何非暂态计算机可读介质,包括例如易失性存储器(诸如静态随机存取存储器(SRAM)和动态随机存取存储器(DRAM)),和/或非易失性存储器(诸如只读存储器(ROM)、可擦除可编程ROM、闪速存储器、硬盘、光盘和磁带)。

[0031] 如本文中使用的,术语“终端”可以被认为与客户端、移动单元、移动台、移动用户、用户设备(UE)、订户、用户、远程站、接入终端、接收器、中继站、小小区、中继小区等同义并且下文中可以偶尔被称为此,并且可以描述无线网络中的无线资源的远程用户。在MIMO系统中,终端可以具有一个或多个天线。

[0032] 类似地,如本文中使用的,术语“基站”可以被认为与eNode B、(基站)收发器站(BTS)、中央节点等同义并且下文中可以偶尔被称为此,并且可以描述与无线网络中的移动设备进行通信并且向其提供无线资源的收发器。如本文中讨论的,除了用于执行本文中讨论的方法的能力之外,基站还可以具有与传统的公知基站相关联的所有功能。

[0033] 图1示意性地示出了其中可以实现本发明的实施例的根据标准3GPP LTE(也被称为“4G”)的通信网络的示例。通信网络包括无线电接入节点10,例如,基站、用户终端UE1、UE2、UE3、UE4、服务网关SGW、分组数据网络网关PDNGW和移动性管理实体MME。在下文中,无线电接入节点10也可以被称为(大规模)多输入多输出(MIMO)基站10。MIMO基站10包括至少一个信道估计模块20、至少一个解码模块25,并且被提供有多个天线30-1、...、30-m。用户终端UE1至UE4经由无线电连接而连接到MIMO基站10。尽管为了清楚的原因而仅被示出用于UE1,但是所有用户终端UE1至UE4包括编码单元40。MIMO基站10经由所谓的S1接口通信地连接到服务网关SGW和移动性管理实体MME,即连接到演进分组核心(EPC)。服务网关SGW通信

地连接到分组数据网络网关PDNGW,PDNGW又通信地连接到外部IP网络IPN。

[0034] S1接口是基站(在这个示例中为eNodeB)与演进分组核心(EPC)之间的标准化接口,并且具有两种类型。首先,S1-MME是用于在MIMO基站10与移动性管理实体MME之间交换信令消息的接口。其次,S1-U是用于在MIMO基站10与服务网关SGW之间发射用户数据报的接口。

[0035] 服务网关SGW被配置为执行IP用户数据在MIMO基站10以及通信网络中的其他基站(未示出)与分组数据网络网关PDNGW之间的路由。另外,服务网关SGW在不同基站之间或不同接入网之间的切换期间用作移动锚点。

[0036] 分组数据网络网关PDNGW表示到外部IP网络IPN的接口,并且终止建立在用户终端与其服务基站之间的所谓的演进分组系统(EPS)承载。

[0037] 移动性管理实体MME被配置为执行与订户管理和会话管理相关的任务,并且还执行不同接入网络之间的切换期间的移动性管理。

[0038] 在下行链路中,从外部IP网络IPN接收的IP数据在EPS承载上经由服务网关SGW从分组数据网络网关PDNGW发射到MIMO基站10。然后,MIMO基站10处理IP数据并且通过空中接口经由多个天线30-1、...、30-m将IP数据发射到相应的用户终端。在上行链路中,数据发射按照与以上关于下行链路而描述的类似的方式来执行,但是在从用户终端到外部IP网络IPN的相反方向上执行。在下文中,将关于MIMO基站10与用户终端UE1至UE4之间的空中接口来讨论上行链路和下行链路。也就是说,下行链路是指从MIMO基站10到用户终端UE1至UE4的信号发射,而上行链路是指从用户终端UE1至UE4到MIMO基站10的信号发射。

[0039] 图2示意性地示出了其中可以实现本发明的实施例的具有大规模MIMO无线回程链路的回程系统架构的通信网络的示例。通信网络包括也被称为(大规模)MIMO基站的(大规模)MIMO中央节点50、无线电接入网络(RAN)服务器80、以及用于服务于用户终端的多个中继小区SC1、SC2、SC3和SC4。中继小区SC1至SC4也可以被称为(中继器)小小区SC1至SC4或终端SC1至SC4。MIMO基站50包括至少一个信道估计模块60、至少一个解码模块65,并且被提供有多个天线70-1、...、70-m。终端SC1至SC4经由无线电连接而连接到MIMO基站50。尽管为了清楚的原因仅描绘了服务于用户设备UE5和UE6的终端SC1,但是应当理解,每个终端SC1、SC2、SC3和SC4被配置为服务一个或多个用户终端。此外,尽管为了清楚起见而仅被示出用于SC1,但是所有终端SC1至SC4包括编码单元90。MIMO基站50还通信地连接到RAN服务器80。

[0040] 在诸如图1中的MIMO基站10和图2中的MIMO基站50等大规模MIMO基站中发生的复用操作的成功操作的关键因素涉及足够准确的信道状态信息(CSI)的获得。特别地,大规模MIMO基站需要获得其M个天线(即图1中的天线30-1、...、30-N和图2中的天线70-1、...、70m)中的每个天线与其所服务于的K个终端(即图1中的UE1至UE4和图2中的SC1至SC4)中的每个终端之间的传播信道的频率响应的足够准确的估计,在两个示例中K等于4。

[0041] 对于采用时分双工(TDD)的大规模MIMO通信系统来说,获得这样的CSI相对容易,其中相同的频带被用于上行链路和下行链路数据传输两者。可以通过K个终端对正交导频序列到M个基站天线的同时发射来获得CSI,由此估计M个基站天线和K个终端中的每个之间的上行链路传播信道状态。由于互易性,上行链路信道等于下行链路信道。采样持续时间与基站天线的数目无关,并且执行训练方案以获得所需要的传播信道状态估计是相对较快的,因为K个终端的整个过程需要K个资源采样,并且在典型的MIMO系统中,终端的数目与基

站天线的数目相比相对较低。

[0042] 然而,在欧洲和北美,大多数无线通信系统使用频分双工(FDD)来操作,其中上行链路信道和下行链路信道通常位于不同的频带中。在FDD下,上行链路正交导频序列的发射仍然足以使MIMO基站估计上行链路传播信道的状态。然而,MIMO基站需要另外的方法来获得下行链路传播信道的状态的足够准确的估计,这通常是耗时的。

[0043] 考虑到具有M个基站天线和K个单天线终端的系统,已知的用于获得FDD大规模MIMO系统中的上行链路和下行链路传播系统的信道状态估计的方式使用直接上行链路导频和下行链路导频加上(模拟)反馈。在下面的处理描述中,假定抑制了上行链路信道和下行链路信道的频率依赖性。此外,应当理解,随后描述的训练和对应的信号处理发生在传播信道被认为基本上恒定的每个频率间隔(被称为子带)内。

[0044] 在这个两阶段过程的第一阶段中,考虑具有M个基站天线和K个单个天线终端的系统,K个终端在上行链路信道上共同发射采样持续时间为 $\tau_u$ 的正交导频序列,表示为 $\tau_u \times K$ 的西矩阵 $\Psi_u$ 。MIMO基站的的天线阵列接收 $M \times \tau_u$ 信号,即

$$[0045] \quad Y_u = \sqrt{\rho_u \tau_u} G_u \Psi_u^H + V_u \quad (1)$$

[0046] 其中上标“H”表示厄米(Hermitian)转置,矩阵 $G_u$ 表示 $M \times K$ 的上行链路传播矩阵, $V_u$ 表示加性接收器噪声,并且 $\rho_u$ 是上行链路信道的信噪比(SNR)的度量。M个天线中的每个然后将其所接收的信号与K个导频序列中的每个相关,以获得上行链路矩阵值信道的噪声版本,即,

$$[0047] \quad Y_u \Psi_u = \sqrt{\rho_u \tau_u} G_u + V_u' \quad (2)$$

[0048] 等式(2)产生的上行链路矩阵值信道的适当缩放版本然后构成上行链路信道的最小均方估计。

[0049] 在第二阶段期间,M个基站天线在下行链路信道上发射采样持续时间为 $\tau_d$ 的正交导频序列,表示为 $\tau_d \times M$ 的西矩阵西矩阵 $\Psi_d$ 。K个终端共同接收 $K \times \tau_d$ 信号,即

$$[0050] \quad Y_d = \sqrt{\frac{\rho_d \tau_d}{M}} G_d^H \Psi_d^H + V_d \quad (3)$$

[0051] 其中矩阵 $G_d$ 表示 $M \times K$ 的下行链路传播矩阵, $V_d$ 表示加性接收器噪声,并且 $\rho_d$ 是下行链路信道的信噪比(SNR)的度量。所接收的信号然后在上行链路上重传,可选地使用缩放因子 $\alpha$ 以符合功率约束。基站然后接收 $M \times \tau_d$ 信号,即

$$[0052] \quad Y_{du} = \sqrt{\alpha \rho_u} G_u \left( \sqrt{\frac{\rho_d \tau_d}{M}} G_d^H \Psi_d^H + V_d \right) + V_{du} \quad (4)$$

[0053] 现在,M个基站天线中的每个可以将其所接收的信号与M个导频序列中的每个相关,得到 $M \times M$ 信号,即

$$[0054] \quad Y_{du} \Psi_d = \sqrt{\alpha \rho_u} G_u \left( \sqrt{\frac{\rho_d \tau_d}{M}} G_d^H + V_d' \right) + V_{du}' \quad (5)$$

[0055] 由于第一阶段的上行链路导频已经提供了针对上行链路信道的估计,所以基站现在可以估计下行链路信道,例如,借助于各种技术,包括但不限于迫零和最小均方误差估计。

[0056] 上述整个过程需要最少 $2M+K$ 个资源采样。由于基站天线的数目 $M$ 通常远高于大规模MIMO系统中的终端的数目 $K$ ,因此获得用于采用FDD的MIMO系统中的上行链路和下行链路传播信道的可靠的CSI比获得采用TDD的MIMO系统中的这样的CSI要麻烦得多。

[0057] 图3示意性地示出了根据本发明的实施例的用于包括大规模MIMO系统的无线通信系统中的信道估计的方法的流程图。在用于包括多个天线的通信系统中的通信单元与一个或多个终端之间的传播信道的信道估计的这个方法中,首先,从多个天线中的每个天线朝向一个或多个终端发射导频信号(动作101)。典型地,这样的导频信号是线性独立的,优选地是正交的,以确保足够准确的下行链路估计,其实施例将在下面描述。

[0058] 一旦被一个或多个终端接收,在一个或多个终端处对于所接收的导频信号执行相关编码以形成相关编码的导频信号(动作103)。这里的相关编码是指将已知量的相关性插入到导频信号中。为此目的,如图1和2所示,终端被提供有编码单元。编码单元可以被配置为根据子带的数目来在时域或频域将相关编码应用于信号。如果通信系统仅采用一个子带,则时域编码单元是适用的。对于这种情况,编码单元被配置为向所接收的导频信号提供终端特定的相关签名,以形成相关编码的导频信号,例如,通过应用有限脉冲响应(FIR)或无限脉冲响应(IIR)滤波器,其向所接收的导频信号、优选地是其归一化版本引入已知自相关,也被称为自协方差。如果终端被提供有多于一个天线,则编码单元可以被配置为向所接收的导频信号提供天线特定的和/或终端特定的相关签名。对于多个子带的情况,采用频域编码单元,其通过将FIR或IIR滤波器应用到所接收的子带特定的导频信号来以逐子带方式操作。这个滤波器向所接收的导频信号引入已知的终端特定的、和/或天线特定的自相关。下文中,为了简单起见,使用术语终端特定的。但是应当理解,在使用具有多于一个天线的终端的实施例中,这个术语可以由术语天线特定的来代替。相关编码可以包括通过终端特定的自回归模型、优选地是1阶终端特定的自回归模型(“AR1模型”)来对所接收的导频信号进行滤波。AR1模型易于实现,因为它在创建频谱多样性方面简单且高效。

[0059] 注意,为了实现估计上行链路信道,由相应终端采用的用于相关编码的所应用的滤波器(即,相关编码单元)必须是基站已知的。

[0060] 然后从一个或多个终端向通信单元的多个天线重传相关编码的导频信号(动作105)。

[0061] 通信单元被提供有至少一个信道估计模块,用于基于相关编码的导频信号来估计一个或多个终端与多个天线之间的上行链路信道(动作107)。用于实现这一点的合适的算法将是本领域技术人员已知的二阶盲标识(SOBI)算法。SOBI算法估计空间协方差矩阵,其相应的估计误差随着 $M$ 增大而减小到零。换言之,如果采用SOBI算法,则更多数目的MIMO基站天线导致上行链路信道的估计得到改善。

[0062] 最后,可以基于所估计的上行链路信道来获得对多个天线与一个或多个终端之间

的下行链路信道的估计(动作109)。

[0063] 用于估计通信单元、特别是MIMO基站与一个或多个终端之间的传播信道的方法需要最少 $2M$ 个资源采样。因此,由于也可以被称为训练方案的这种估计方案独立于 $K$ ,所以该方法对于包括被配置为由通信单元服务的相对大量的终端的通信系统是非常有吸引力的。

[0064] 注意,只要滤波器引入足够的频谱分集(diversity)并且是可逆的,就可以使用其他类型的滤波器而不是AR1模型。例如,代替使用线性卷积的AR1模型,可以使用对接收的导频信号使用循环卷积运算的滤波器。通过所接收的(叠加的)信号的盲分离来估计上行链路信道(动作107)依赖于针对不同时间滞后的(空间)协方差矩阵的估计。然而,由于导频信号的有限长度,这种估计可能受到有限采样支持的影响。通过采用循环卷积,可以在导频信号的第一采样之间引入相关性,其中线性相关滤波器仅仅表现出一些瞬态行为。结果,对于有限采样支持,协方差矩阵估计准确度可以得到改善。

[0065] 上面针对包括 $M$ 个基站天线和 $K$ 个终端的MIMO通信系统参考图3描述的实施例的定量示例可以描述如下。再次,假定上行链路信道和下行链路信道的频率依赖性被抑制。类似地,应当理解,训练和相应的信号处理发生在传播信道被认为基本上恒定的每个频率间隔(即,子带)内。

[0066] 首先, $M$ 个基站天线在下行链路信道上发射采样持续时间为 $\tau_d$ 的正交导频序列,表示为 $\tau_d \times M$ 的酉矩阵 $\Psi_d$ 。第 $k$ 终端接收 $1 \times \tau_d$ 信号, $k$ 属于 $\{1, \dots, K\}$ ,即

$$[0067] \quad x_{dk}^H = \left( \sqrt{\frac{\rho_d \tau_d}{M}} g_{dk}^H \Psi_d^H + v_{dk}^H \right) \quad (6)$$

[0068] 其中 $g_{dk}$ 表示第 $k$ 终端的 $M \times 1$ 下行链路传播矢量,并且 $v_{dk}$ 表示加性接收器噪声。现在,代替所接收的导频信号在上行链路中的立即重传,每个终端 $k$ 首先应用相关滤波器,相关滤波器在所接收的导频序列 $x_{dk}$ 上引入终端特定的自相关。在整个说明书中,这个操作被称为相关编码,并且经过相关编码的导频信号被称为相关编码的导频信号。如下面将更详细讨论的,为导频信号提供终端特定的自相关签名(即形成相关编码的导频信号)使得基站能够估计上行链路信道。终端 $k$ 进行的相关编码可以通过所接收的导频序列 $x_{dk}$ 与所谓的托普利茨(Toeplitz)矩阵 $C_k$ 的乘积来描述,即

$$[0069] \quad y_{uk}^H = x_{dk}^H C_k^H = \left( \sqrt{\frac{\rho_d \tau_d}{M}} g_{dk}^H \Psi_d^H + v_{dk}^H \right) C_k^H \quad (7)$$

[0070] 其中Toeplitz矩阵 $C_k$ 将成为下三角矩阵,使得所得到的滤波器是实现线性卷积的因果滤波器。或者,也可以将 $C_k$ 选择为循环矩阵以便实现循环卷积。下面将描述对于所有 $k$ 属于 $\{1, \dots, K\}$ 的合适的Toeplitz矩阵 $C_k$ 的可能选择。注意,为了能够在MIMO基站处估计下行链路信道,由相应终端采用的滤波器矩阵必须是基站已知的。

[0071] 优选地,所有 $k$ 的下行链路信道矢量 $g_{dk}$ 的分量都是独立并且是相同分布的(复数)高斯随机变量,瑞利衰落信道就是这种情况。在这种情况下,所有 $k$ 的所接收的序列 $x_{dk}$ 与独立且相同(复数)的高斯元素互不相关。这样的序列在光谱上是白色的,并且从统计域的观点来看是不可区分的。通过明智地对序列 $x_{dk}$ 进行着色,即通过在终端处的相关编码来指派

不同的频谱模式, MIMO基站能够识别上行链路信道并且分离终端的信号, 例如, 通过SOBI算法。

[0072] 所有K个终端然后可以在上行链路中同时重传由等式 (7) 定义的相关编码的导频信号, 可选地使用适当的缩放因子 $a_k$ 以符合功率约束。基站的天线阵列然后接收 $M \times \tau_d$ 信号, 即

$$[0073] \quad Z_{du} = \sum_{k=1}^K \sqrt{\alpha_k \rho_u} g_{uk} \left( \sqrt{\frac{\rho_d \tau_d}{M}} g_{dk}^H \Psi_d^H + v_{dk}^H \right) C_k^H + V_{du} \quad (8)$$

[0074] 现在基站可以计算所有上行链路信道的估计 $\hat{g}_{uk}$ 和信号 $y_{uk}$ , 二者由复数缩放因子和终端索引的排列决定。如前所述, 这样的计算可以例如应用SOBI算法。基于分离的上行链路信号 $y_{uk}$ , 基站能够如下来估计第k下行链路信道(由复数缩放因子决定):

$$[0075] \quad \hat{g}_{dk}^H = \hat{y}_{uk}^H C_k \Psi_d (\Psi_d^H C_k^H C_k \Psi_d)^{-1} \quad (9)$$

[0076] 估计所有上行链路信道和下行链路信道所需要的资源采样总数因此等于 $2M$ 。

[0077] 如前所述, 为了在终端处执行相关编码而获得足够的频谱分集的相对简单的方法是通过1阶自回归模型来对每个接收的信号 $x_{dk}$ 进行滤波, 例如通过使用明智地选择的系数

$$[0078] \quad a_k = \rho_k \exp(j\theta_k) \quad (10)$$

[0079] 其中 $\rho_k$ 通常被选择为对于所有k具有相同的值, 其中k属于 $\{1, \dots, K\}$ , 使得所有k的系数 $a_k$ 位于复平面中的圆上, 其半径等于例如 $r=0.95$ ; 也就是说, 对于所有k,  $\rho_k=0.95$ 。此外, 在复圆上 $a_k$ 的这种均匀分布的情况下, 可以如下计算所有k的参数 $\theta_k$ :

$$[0080] \quad \theta_k = 2\pi(k-1)/K \text{ 其中 } k \in \{1, \dots, K\} \quad (11)$$

[0081] 相应的滤波器矩阵 $C_k$ 是由矢量 $[a_k^0, a_k^1, \dots, a_k^{M-1}]$ 构建的下三角Toeplitz矩阵。对于 $M=4$ 的情况, 这导致:

$$[0082] \quad C_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_k & 1 & 0 & 0 \\ a_k^2 & a_k & 1 & 0 \\ a_k^3 & a_k^2 & a_k & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

[0083] 可以修改复平面中的圆的半径(即, 参数 $\rho_k$ )以便折衷所有k的信号 $y_{uk}$ 的频谱重叠与矩阵 $C_k^H C_k$ 的所谓的条件数, 该矩阵指定在等式 (9) 中给出的下行链路信道估计步长内的噪声放大。

[0084] 在完全模拟终端的情况下, 不得求助于由具有Toeplitz结构的滤波器矩阵实现的(因果)线性卷积。此外, 如果使用的导频信号足够窄, 即如果它们的信号带宽小于传送它们的信道的相干带宽, 则使用线性卷积特别有用。相反, 循环卷积(即, 循环滤波矩阵)需要数字处理, 但是为了信道估计目的而改善了MIMO基站采用的盲分离算法的性能, 特别是对

于小导频长度和/或小数目的MIMO基站天线。

[0085] 在执行上行链路信道的估计并且获得对下行链路信道的估计之后,如参考图3一般性地描述的,并且用上面的定量示例说明的,上行链路和下行链路信道矢量是充分已知的由终端索引的未知置换(或者在终端相对于天线索引具有多于一个天线的情况下)决定。这种模糊在下行链路中的诸如广播发射等各个终端使用共轭波束形成的场景中不成问题。但是,在其他一些场景中可能会导致问题。

[0086] 为了克服上述模糊性,参考图3描述的信道估计方法还可以包括数据信号在上行链路中到MIMO基站的多个天线的发射,每个数据信号包括与数据信号所源自的发射源的身份相关的信息(动作111)。发射源可以被标识为终端本身,其中发射源身份信息包括终端特定的信息。或者,如果终端设置有多于一个天线,则发射数据信号的特定天线可以被标识为发射源。在这种情况下,发射源身份信息因此包括天线特定的信息。在任何情况下,身份信息可以采用具有身份特定加扰和/或循环冗余校验(CRC)校验和的编码信号的形式。

[0087] 然后,MIMO基站的解码模块可以使用发射源身份信息来将上行链路信道和下行链路信道链接到相应的终端(动作113)。应当理解,如果终端设置有单个天线,则表述“相应终端”涉及终端本身,但是如果相应终端设置有多于一个天线,则还可以涉及终端的特定天线。特别地,MIMO基站可以应用所估计的上行链路信道矢量以便通过例如迫零均衡器的最小均方误差(MMSE)来分离所有终端的叠加的上行链路信号。通过仅尝试借助身份信息而获得的不同身份,MIMO基站能够解决上述索引模糊性,而不需要任何进一步的信道使用。

[0088] 说明书和附图仅仅示出了本发明的原理。因此,应当理解,本领域技术人员将能够设计尽管在本文中并没有明确地描述或示出但是实施本发明的原理的各种布置。此外,本文中叙述的所有示例主要旨在明确地仅用于教学目的,以帮助读者理解本发明的原理和发明人为促进本领域所贡献的概念,并且应当被解释为没有限制这种具体记载的示例和条件。此外,本文中引用本发明的原理、方面和实施例的所有陈述以及其具体示例旨在涵盖其等同物。

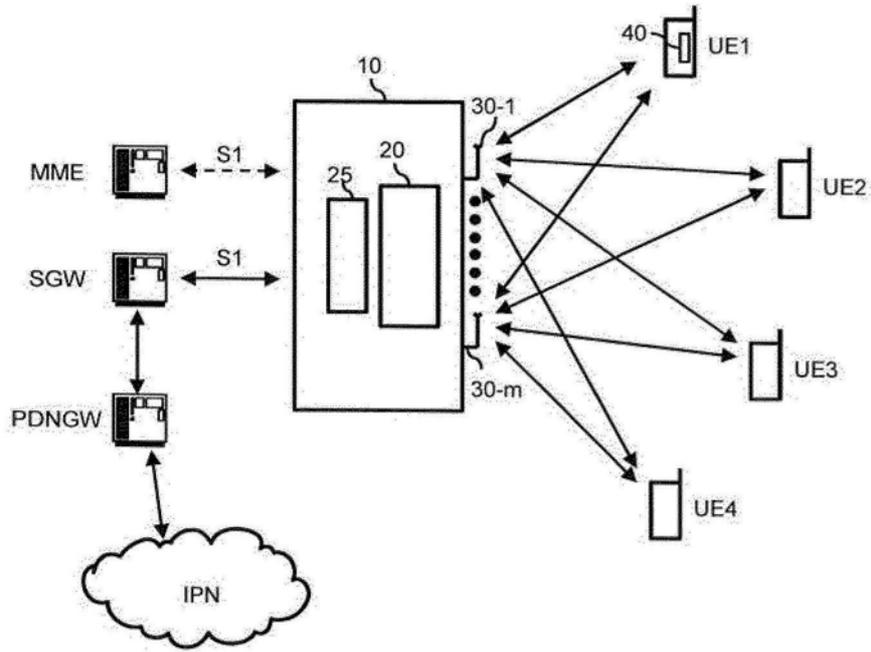


图1

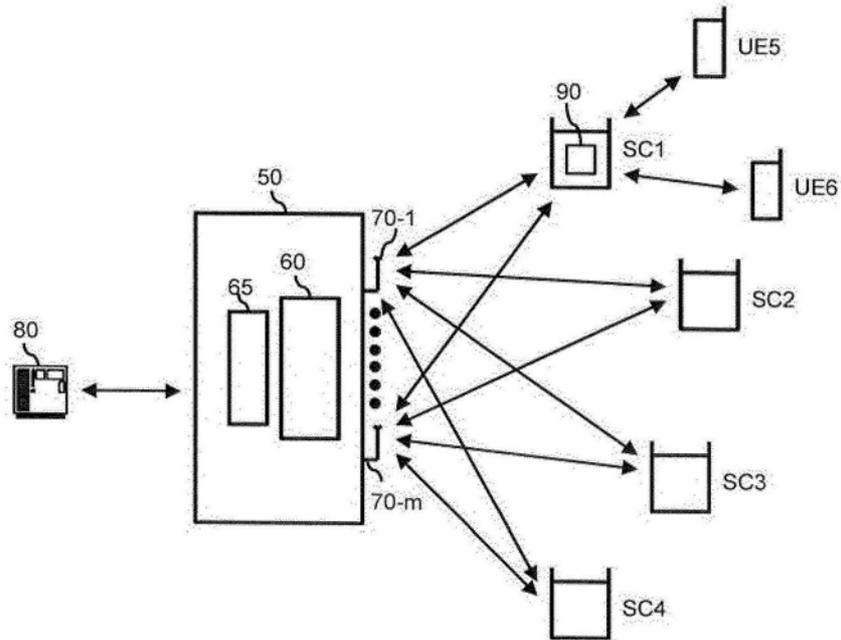


图2

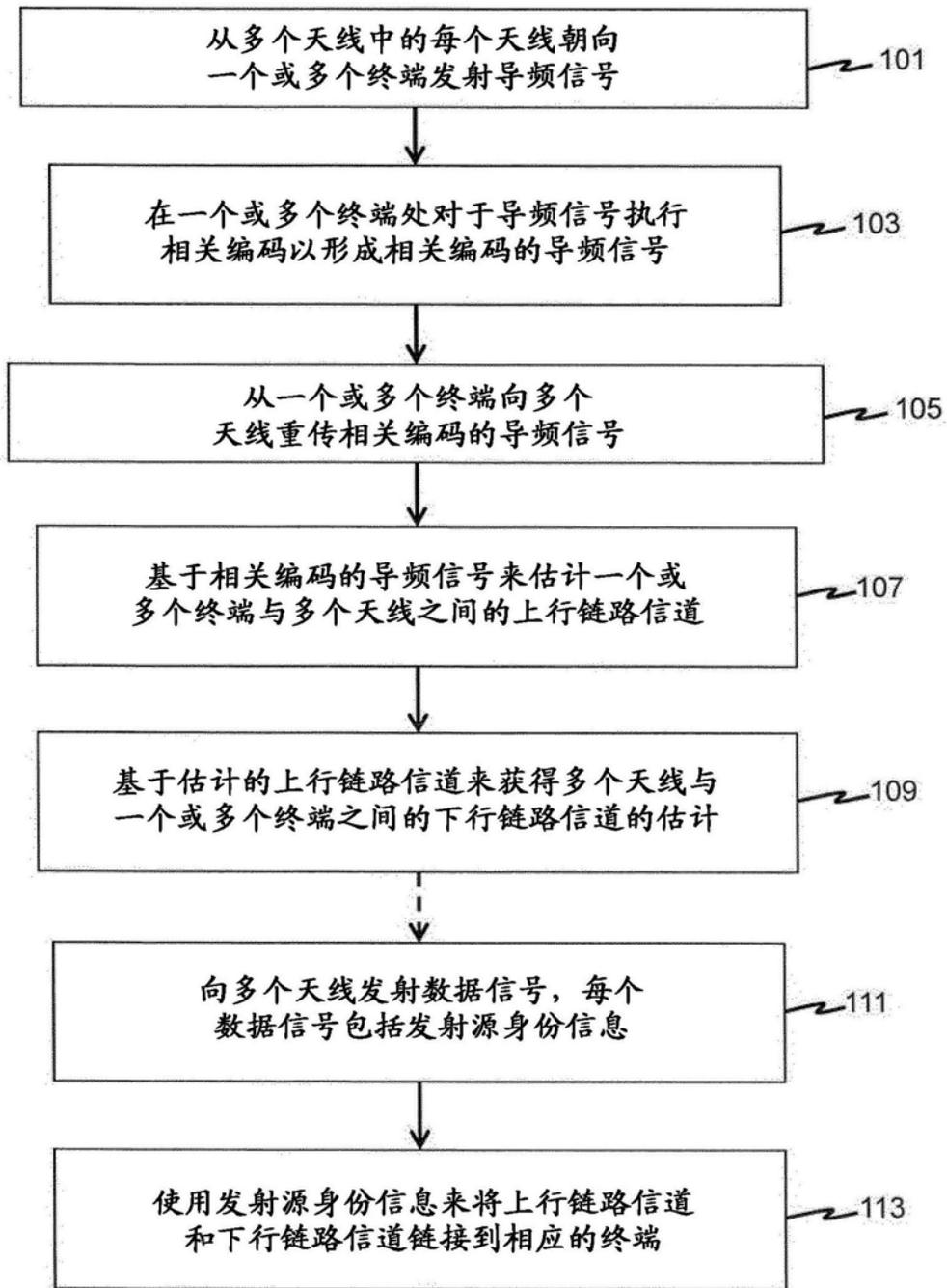


图3