

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101652971 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 26

(21) 申请号 200880011167. 0

H04L 25/03(2006. 01)

(22) 申请日 2008. 04. 01

H04L 25/02(2006. 01)

(30) 优先权数据

60/922, 703 2007. 04. 09 US

11/897, 877 2007. 08. 31 US

(56) 对比文件

CN 1665224 A, 2005. 09. 07,

US 2003/0210750 A1, 2003. 11. 13,

审查员 王侠

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 09. 30

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/004232 2008. 04. 01

(87) PCT申请的公布数据

W02008/123977 EN 2008. 10. 16

(73) 专利权人 朗讯科技公司

地址 美国新泽西州

(72) 发明人 G·G·T·卡拉默 P·A·惠廷

M·泽维科维克

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华 黄倩

(51) Int. Cl.

H04L 27/26(2006. 01)

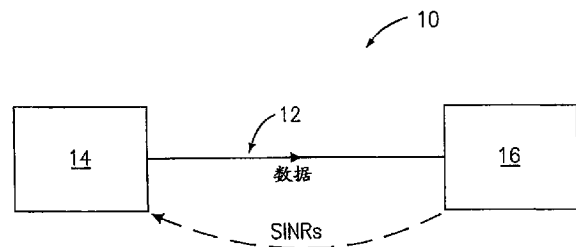
权利要求书 1 页 说明书 12 页 附图 5 页

(54) 发明名称

通过测量干扰来确定信道矩阵

(57) 摘要

一种设备,包括:发射机,配置用于经由物理通信链路的多个通信信道来向一个或多个接收机发送符号。该发射机配置用于基于在一个或多个接收机处的信号与干扰加噪声比的值来估计针对所述物理通信链路的信道矩阵的一个或多个非对角元素的相位。



1. 一种可用于多信道通信系统的方法,包括:

接收针对一个或多个接收机的信号与干扰加噪声比的多个度量,所述一个或多个接收机经由物理通信链路耦合到发射机,所述物理通信链路支持所述发射机和所述一个或多个接收机之间的多个通信信道;以及

基于接收的多个信号与干扰加噪声比来确定针对所述物理通信链路的信道矩阵的一个或多个非对角元素的相位。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

从所述发射机经由所述物理通信链路向一个或多个接收机发送 DSL 音的流。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中每个信道对应于多个 DSL 音之一。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

将光符号的流从所述发射机经由所述物理通信链路的不同波长信道发送到所述一个或多个接收机。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中每个确定的相位是所述信道矩阵的一个或多个非对角元素相对于另一个元素的相对相位。

6. 一种可用于多信道通信系统的设备,包括:

发射机,配置用于经由物理通信链路的多个通信信道来向一个或多个接收机发送符号;以及

其中所述发射机配置用于基于在一个或多个接收机处的信号与干扰加噪声比的值来估计针对所述物理通信链路的信道矩阵的一个或多个非对角元素的相位。

7. 根据权利要求 6 所述的设备,其中所述发射机配置用于基于信号与干扰加噪声比的值来评估一个或多个非对角元素的相位。

8. 根据权利要求 6 所述的设备,其中所述发射机包括预编码器,所述预编码器能够执行对所述物理通信链路进行有效对角化的预编码。

9. 根据权利要求 6 所述的设备,其中所述发射机配置用于经由 DSL 音发送所述符号。

10. 根据权利要求 6 所述的设备,其中所述发射机配置用于通过不同波长信道向所述物理通信链路发送光符号的流。

通过测量干扰来确定信道矩阵

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 Gerhard Kramer、Philip A. Whiting 和 Miroslav Zivkovic 于 2007 年 4 月 9 日提交的美国临时专利申请 No. 60/922703 的权益。

技术领域

[0003] 本发明涉及多信道通信系统。

背景技术

[0004] 本部分的内容介绍了可以有助于更好地理解本发明的方面。因此,本部分的描述应该据此理解并且不应该理解为关于何为现有技术或者何为非现有技术的承认。

[0005] 许多通信系统使用多个信道来提高数据速率和 / 或分离进行通信的不同数据流。这种系统的例子包括一些无线通信系统、数字订户线路 (DSL) 系统以及密集波分复用 (DWDM) 系统。在这种系统中,各种信道共享物理通信链路的一部分,从而信道间串扰 (crosstalk) 可以出现在信道之间。例如,DSL 系统通过相同的双绞铜线针对每个信道发送 DSL 音 (tone)。由于该原因,可以在 DSL 接收机处在一个或多个 DSL 音的频率信道中检测到对一个 DSL 音的传输。通常,信道间串扰的存在意味着传输到一个信道的通信在一定程度上可以在一个或多个其他信道上接收。

[0006] 可以通过线性串扰模型描述多个多信道通信系统。线性串扰模型限定了在通信时隙中发射符号和接收符号之间的关系,该关系如下所示:

$$[0007] \quad Y = H \cdot X + Z \quad (1)$$

[0008] 在式 (1) 中, N 分量复矢量 X 、 Y 和 Z 分别表示发射符号或信号、接收符号或信号和噪声。特别地,这些矢量中的第 k 个分量 X_k 、 Y_k 和 Z_k 是第 k 个信道上的发送信号、接收信号和噪声信号。 $N \times N$ 复矩阵 H 将称作信道矩阵。第 (k, m) 个分量 $H_{k,m}$ 描述物理通信链路如何响应于被发射到第 m 个信道上的符号产生第 k 个信道上的信号。信道矩阵 H 的对角元素描述直接信道耦合,并且信道矩阵 H 的非对角元素描述信道间耦合。

发明内容

[0009] 各种实施方式提供可以在多信道通信系统中估计物理通信链路的信道矩阵的方法和设备。具体地,实施方式依赖于测量的信号与干扰加噪声比 (SINR) 以确定信道矩阵的一个或多个非对角元素。所测量的 SINR 支持所述非对角元素的相对相位的确定。

[0010] 第一实施方式的特征在于一种包括发射机的设备。发射机配置成经由物理通信链路的多个通信信道向一个或多个接收机发送符号。发射机配置成基于在一个或多个接收机处的信号与干扰加噪声比的值来估计针对物理通信链路的信道矩阵的一个或多个非对角元素的相位。

[0011] 第二实施方式的特征在于一种方法。该方法包括接收针对一个或多个接收机的信号与干扰加噪声比的多个度量。一个或多个接收机经由物理通信链路耦合到发射机。物理

通信链路支持发射机和一个或多个接收机之间的多个通信信道。本方法还包括基于接收到的多个信号与干扰加噪声比来确定针对物理通信链路的信道矩阵的一个或多个非对角元素的相位。

附图说明

[0012] 图 1 是示意性示出多信道通信系统的实施例的框图；

[0013] 图 2 是示出用于估计针对支持多个信道的物理通信链路（例如在图 1 的多信道通信系统中）的信道矩阵的一个或多个非对角元素的方法的流程图；

[0014] 图 3 是示出数字订户线路 (DSL) 通信系统的框图, 该数字订户线路 (DSL) 通信系统是图 1 的多信道通信系统的一个实施例；

[0015] 图 4 是示出另一个 DSL 通信系统的框图, 该另一个 DSL 通信系统是图 1 的多信道通信系统的另一个实施例；

[0016] 图 5 是示出密集波分复用 (DWDM) 光通信系统的框图, 该密集波分复用光通信系统是图 1 的多信道通信系统的另一个实施例；

[0017] 图 6 是示出多输入多输出 (MIMO) 无线通信系统的框图, 该多输入多输出无线通信系统是图 1 的多信道通信系统的另一个实施例；

[0018] 图 7 是示出另一个无线通信系统的框图, 该另一个无线通信系统是图 1 的多信道通信系统的另一个实施例；

[0019] 图 8 是示出用于评估信道矩阵的一个或多个非对角元素的幅度和相对相位的方法（例如根据图 2 的方法）的流程图；以及

[0020] 图 9 是示出例如在图 1 和 3-7 的多信道通信系统之一中实现图 2 的方法的发射机的实施方式的框图。

[0021] 在附图和文本中, 类似的标号指示具有类似功能的元件。

[0022] 在附图中, 一些特征的相对尺寸可以被增大以更为清楚地示出这里所图示出的一个或多个结构。

[0023] 这里, 通过附图和示意性实施方式的详细描述来描述各种实施方式。然而, 本发明可以以各种形式来实现而限于在附图和示意性实施方式的详细描述中所描述的特定实施方式。

具体实施方式

[0024] 这里一些实施方式可以结合 Mamoun Guenach、Gerhard Kramer、Jerome Louveaux、Jochen Maes、Michael Peeters、Luc Vandendorpe、Jan Verlinden、Philip Whiting、Geert Ysebaert、以及 Miroslav Zivkovic 的美国专利申请号 11/897,809 的标题为“DETERMINING CHANNELMATRICES BY CORRELATED TRANSMISSIONS TO DIFFERENTCHANNELS”，(案卷号:Guenach 1-12-1-1-1-1-20-1-9)；和/或由 Adriaan de Lind van Wijngaarden、Gerhard Kramer、Philip Whiting、和 Miroslav Zivkovic 的美国专利申请号 11/848,684 的标题为“METHOD AND APPARATUS FOR SELF-TUNING PRECODER”，by(案卷号 DE LIND VAN WIJNGAARDEN 21-10-18-7) 中所描述的方法和/或设备。上述引用的两件美国专利申请在 2008 年 8 月 31 日提交, 在此通过参考将其整体并

入。

[0025] 这里,某些实施方式可以结合由 Gerhard Kramer、Carl Nuzman、Philip Whiting 和 Miroslav Zivkovic 在 2007 年 4 月 26 日提交的美国专利申请号 No. 11/796,366 所描述的设备 and / 或方法。在此通过参考将该美国专利申请整体并入。

[0026] 本申请也可以通过参考将由 Gerhard Kramer、Philip A. Whiting 和 Miroslav Zivkovic 由 2007 年 4 月 9 日所提交的美国临时专利申请号 60/922,703 的整体内容并入。

[0027] 各种实施方式估计在图 1 中示意性示出的通信系统 10 的信道矩阵 H。通信系统 10 包括物理通信链路 12、发射机 14 和一个或多个接收机 16。物理通信链路 12 支持 N 个不同的通信信道,通过这 N 个不同的通信信道,发射机 14 可以向一个或多个接收机 16 发送数据符号流。

[0028] 在通信系统 10 中,物理通信链路 12 也造成信道间串扰,该信道间串扰可以造成将在一个或多个接收机 16 处的多个信道上接收到在一个信道上发射的数据符号。物理通信链路 12 的传输特性可以通过等式 (1) 的线性串扰模型来描述,其中信道矩阵 H 是 $N \times N$ 的复数信道矩阵。由于信道间串扰,可能期望估计信道矩阵 H 的非对角元素的一个或多个,以预补偿或后补偿由物理通信链路 12 所产生的串扰。发射机 14 配置成做出此类的估计,例如在不依赖于支持所述非对角元素的直接度量的交换的通信协议的情况下做出。

[0029] 具体地,一个或多个接收机 16 测量一个或多个信道 SINR 或测量直接代表此类信道 SINR 的值的对象。这里,信道 SINR 是指单个信道的 SINR 或是指在若干相邻频带上求平均而得到的 SINR,例如,在用于 DSL 通信系统的单个本地通信环路的 DSL 调制解调器处对于若干相邻 DSL 音求平均而得到的 SINR。在通信会话初始化和 / 或规则数据传输期间,一个或多个接收机 16 可以进行这样的测量。一个或多个接收机 16 配置成例如经由物理通信链路 12 将信道 SINR 的所述度量或直接代表信道 SINR 值的所述对象发送到发射机 14。

[0030] 在通信系统 10 中,发射机 14 基于信道 SINR 的值来估计信道矩阵 H 的非对角元素,例如经由图 2 的方法 20。

[0031] 参考图 2,方法 20 包括接收针对物理通信链路的信道 SINR 的度量的时间序列,该信道 SINR 例如单个信道 SINR 或在若干个相邻频带上求平均后得到的信道 SINR (步骤 22)。在某些实施方式中,发射机 14 可以经由反向物理通信链路 12 接收已经由一个或多个接收机 16 所直接测量的信道 SINR 的值。在其他实施方式中,当与信道的直接传输特性合并时,发射机 14 可以接收直接代表信道 SINR 的一个或多个信道特性的度量。即,此类实施方式的发射机 14 根据一个或多个信道特性以及信道的直接传输特性的度量来评估信道 SINR,例如如下面所描述的那样。此类直接传输特性的示例是发送到单个信道的功率以及单个信道的直接增益。

[0032] 在步骤 22 处,被测量的信道 SINR 的接收机可以知道在信道 SINR 被测量的时隙期间所发射的数据符号的具体形式。例如,在发射的数据符号的形式与在步骤 22 处所接收的 SINR 之间可以存在已知的对应关系。

[0033] 方法 20 包括估计信道矩阵的一个或多个非对角元素,例如以便找到将发射机耦合到一个或多个接收机的物理通信链路的相位。基于在步骤 22 处接收的信道 SINR 的度量来估计一个或多个非对角元素。在某些实施方式中,已知形式的各种发射数据符号与信道的 SINR 的度量一起使用以估计信道矩阵的每个非对角元素。在某些实施方式中,信道 SINR

或单个信道 SINR 的值用于估计针对物理通信链路 12 的信道矩阵的整个非对角部分。

[0034] 这里,相位可以指相位角或相位因子。相位角的估计和相位角的三角函数的估计都是相位角的估计。例如,对于复数的实部和虚部的评估提供了对于复数的相位的估计。另外,这里相位可以表示相对相位或绝对相位。

[0035] 在方法 20 中,信道矩阵 H 优选地在 SINR 的序列被测量并且用于估计信道矩阵 H 的一个或多个非对角元素的时间段上基本上是恒定的。例如,具有最大幅度的信道矩阵的对角元素在所述时间段上的改变可以小于约 10%。

[0036] 图 3-6 图示出如图 1 中所示的多信道通信系统 10 的不同具体实施方式。

[0037] 图 3 图示出数字订户线路 (DSL) 通信系统 10A 的部分。DSL 通信系统 10A 包括中央电话局 2、本地通信环路 3 和单个 DSL 订户 4。中央电话局 2 和其 DSL 调制解调器 5 用作图 1 的发射机 10。本地通信环路 3 (例如,双绞铜线) 用作图 1 的物理通信链路 12。DSL 订户 4 的 DSL 调制解调器 6 用作图 1 的接收机 16。在 DSL 通信系统 10A 中,每个信道是针对 DSL 音 (即,音 T_1, \dots, T_N) 之一的一个频率范围。每个 DSL 音可以用于在中央电话局 2 和 DSL 订户 4 之间的 DSL 调制解调器 5、6 之间发送通信符号流。DSL 音 T_1, \dots 和 T_N 在频率上紧密间隔排列,从而在 DSL 音之一 (例如 T_k) 上发送的符号可以造成在另一个 DSL 音 (例如 T_m , 其中 $m \neq k$) 的频率范围内在 DSL 订户的调制解调器 6 处检测到流。在 DSL 通信系统 10A 中,DSL 订户 4 的调制解调器 6 在初始化时和 / 或在常规操作器件有规律地测量一个或多个信道 SINR 的值或直接代表 SINR 的信道特性的值。DSL 订户 4 的调制解调器 6 将此类测量的值经由相同的本地通信环路 3 发送到中央电话局 2 的调制解调器 5。

[0038] 图 4 图示出 DSL 通信系统 10B 的一部分,该 DSL 通信系统 10B 包括中央电话局 2、多个本地通信环路 3 和多个 DSL 订户 4。中央电话局 2 和其多个 DSL 调制解调器 5 一起用作图 1 的发射机 10。多个本地通信环路 3 用作图 1 的物理通信链路 12。分离的 DSL 订户 4 的多个 DSL 调制解调器 6 用作图 1 的一个或多个接收机 16。在该实施方式中,每个本地通信环路 3 形成物理通信链路 12 的分离直接信道。每个此类的信道与 DSL 订户 4 的 DSL 调制解调器 6 之一以及与中央电话局 2 的 DSL 调制解调器 5 之一通信。

[0039] 在图 4 中,本地通信环路 3 在彼此之间具有串扰,因为它们的某些铜双绞线共享一个或多个相同的绑带 (binder) 或电缆 7。在一个或多个绑带或电缆 7 中,不同本地环路 3 的铜双绞线的邻近可能造成它们之间的串扰。串扰可以造成通过中央电话局 2 的一个 DSL 调制解调器 5 的音进行发送的数据流被多于一个的 DSL 订户 4 的 DSL 调制解调器 6 检测到。由于该原因,在 DSL 通信系统 10B 中的信道矩阵的非对角元素可能是非零的。DSL 订户 4 的调制解调器 6 在初始化时和 / 或在常规操作器件有规律地测量一个或多个信道 SINR 的值或一个或多个直接代表 SINR 的信道特性的值。DSL 订户 4 的调制解调器 6 经由本地通信环路 3 将此类测量的值发送到中央电话局 2 的调制解调器 5。

[0040] 图 4 的通信系统 10B 的某些实施方式可以使用多个 DSL 音来在 DSL 调制解调器 5、6 之间发送数据。接着,各个信道由单个本地通信环路 3 和 DSL 音来进行索引,或可替代地,由单个本地通信环路 3 和分离的若干相邻 DSL 音的组来进行索引。在此类的实施方式中,DSL 音 (即, $T_1 \dots T_N$) 的紧密间隔和 / 或本地通信环路 3 的不同环路的铜双绞线的紧密邻近可能产生描述此类物理通信链路 12 的信道矩阵中的非零非对角元素。

[0041] 图 4 的 DSL 通信系统 10B 的某些实施方式可以向 DSL 订户 4 发送数据,如在由

Gerhard Kramer 等人在 2006 年 4 月 26 日提交的美国临时申请号 60/795,369 中描述的那样。在此通过参考其整体内容而将该美国临时申请公开的内容并入。

[0042] 图 5 图示出 DWDM 光通信系统 10C, 其包括光纤传输线 12、光发射机 14 和光接收机 16。相同的光纤传输线 12 用作图 1 的物理通信链路 12 并且支持一组波长信道 $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ 上的光数据符号的传输。波长信道 $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ 紧密地间隔, 从而在波长信道之一 (例如 λ_k) 上的光数据符号的传输可能造成光接收机 16 在一个或多个其他波长信道 (例如信道 λ_j , 其中 $j \neq k$) 上检测到光数据符号。光接收机 16 在初始化时和 / 或在常规操作期间有规律地测量针对一个或多个波长信道的一个或多个 SINR 的值或直接代表 SINR 的 DWDM 信道特性的值。光接收机 16 例如经由光纤传输线 12 向光发射机 14 发送此类测量的值。

[0043] 图 6 示出多输入多输出 (MIMO) 无线通信系统 10D 的一部分。在 MIMO 通信系统 10D 中, 自由空间通信链路 12 将发送的数据符号从无线发射机 14 携带到无线接收机 16。无线发射机 14 具有多个独立的发射设备 $8_1, \dots, 8_N$, 并且无线接收机 16 具有多个独立的接收机设备 $9_1, \dots, 9_N$ 。自由空间通信链路 12 将发射设备 $8_1, \dots, 8_N$ 和接收机设备 $9_1, \dots, 9_N$ 进行互连, 从而针对自由空间通信链路 12 的信道矩阵可以具有非零的对角元素和非零的非对角元素。无线接收机 16 在初始化期间和 / 或常规操作期间有规律地测量接收机设备 $9_1, \dots, 9_N$ 的每个的 SINR 或直接代表其的一个或多个信道特性。无线接收机 16 经由相同的自由空间通信链路 12 向无线发射机 14 发送此类测量的值。

[0044] 图 7 图示出替代的无线通信系统 10E, 其中图 6 的单个无线接收机 16 被多个分离的无线接收机 $9_1, \dots, 9_N$ 来替代。再次, 无线发射机 14 具有多个独立的发射设备 $8_1, \dots, 8_N$, 并且自由空间链路 12 将发射设备 $8_1, \dots, 8_N$ 互连到分离的接收机 $9_1, \dots, 9_N$ 。由于链路 12 的自由空间形式, 信道矩阵可以具有非零对角元素和非对角元素。每个无线接收机 $9_1, \dots, 9_N$ 在初始化期间和 / 或常规操作期间有规律地测量其自身的 SINR 的值或直接代表其的一个或多个信道特性的值。每个无线接收机 $9_1, \dots, 9_N$ 将此类测量的值发送到无线发射机 14。

[0045] 再次参考图 1, 发射机 14 和 / 或一个或多个接收机 16 执行由物理通信链路 12 所支持的 N 个信道的物理特性的直接度量的有限集。典型地, 直接度量并不包括信道矩阵 H 的非对角元素的度量。然而, 直接度量确实支持在时间序列评估一个或多个信道 SINR, 例如支持对于单信道 SINR 或在小组相邻频带上求平均的单信道 SINR 的评估。根据此类直接度量的有限集, 发射机 14 估计针对物理通信链路 12 的信道矩阵 H 的一个或多个非对角元素, 例如直至得到其绝对的每列相位。对信道矩阵 H 的元素的估计通常比基本上会改变的信道矩阵 H 更快地执行。例如, 每个估计可以在这样的时间段内完成, 在该时间段上, 具有最大幅度的非对角元素的幅度在幅度方面改变小于 10% 或甚至小于 1%。

[0046] 对于信道“ k ”, 执行的直接度量集合可以包括直接信道增益 d_k 的度量、发送的信道功率 P_k 以及信道 k SINR。在大约时间“ t ”处的第 k 个信道的 SINR 称为 $\text{SINR}_k[t]$ 。直接信道 k 增益, 即 d_k , 是在没有串扰和噪声情况下的比值 Y_k/X_k 或其时间平均。直接信道增益 d_k 考虑在物理通信链路 12 的第 k 个信道上的传输的延迟和衰减。直接信道增益 d_k 也是信道矩阵的对角元素, 即 $H_{k,k} = d_k$ 。发送的信道功率 P_k 是发射机 14 实际向第 k 个信道发送的功率或其时间平均。信道 k SINR, 即 $\text{SINR}_k[t]$, 定义在时间“ t ”处的第 k 个信道的质量并且可以从下式评估:

$$[0047] \quad \text{SINR}_k[t] = \frac{E(|d_k X_k|^2)}{E(|Y_k - d_k X_k|^2)} \quad (1a)$$

[0048] 上式中, $E(U)$ 是 U 在通信时隙序列 (例如连续时隙序列) 上的时间平均, 其中序列暂时处于或接近于时间“ t ”。对象 $|Y_k|^2$ 是由一个或多个接收机 16 所接收的总信道 k 功率, 即, 在时隙上的平均。对象 $|Y_k - d_k \cdot X_k|^2$ 是由一个或多个接收机 16 所接收的信道 k 上的串扰功率和噪声功率的和并且在通信时隙上进行平均。在确定信道 k 的 SINR 即 $\text{SINR}_k[t]$: 过程中, 一个或多个接收机 16 可以在时隙序列上对 $E(|Y_k - d_k \cdot X_k|^2)$ 求平均, 从而关系式 $E(|Y_k - d_k \cdot X_k|^2) = E(|Y_k|^2) - |d_k \cdot X_k|^2$ 基本上是有效地。在时隙的序列上求平均可以明显地消除在平均对象 $E(|Y_k - d_k \cdot X_k|^2)$ 和 $E(|Y_k|^2)$ 中噪声的影响。根据这样的时间平均, 等式 (1a) 可以典型地被重写为下面的形式:

$$[0049] \quad \text{SINR}_k[t] = \frac{|d_k|^2 P_k}{E(|Y_k|^2) - |d_k|^2 P_k} \quad (1b)$$

[0050] 这里, $|d_k|^2 \cdot P_k$ 是直接信道 k 功率, 其由一个或多个接收机 16 在时间“ t ”处接收。两种形式的 $\text{SINR}_k[t]$: (即等式 (1a) 或等式 (1b)) 都用于这里所描述的实施方式中的特定发送信号。

[0051] 在各种实施方式中, d_k , P_k , 和 / 或 ($\text{SINR}_k[t]$) 的值可以在运行时间经由单端线路测试 (SELT) 或双端线路测试 (DELT) 来获得和 / 或经由初始化协议来获得。 d_k , P_k , 和 / 或 ($\text{SINR}_k[t]$) 的值可以通过由发射机 14 和 / 或由一个或多个接收机 16 所做的测量来获得。例如, 一旦在每 N 个时隙中, 一个或多个接收机 16 可以评估 $|Y_k|^2$, 并且接着, 在大约 0.5 秒或更长时段的时隙上对 $|Y_k|^2$ 求平均, 以获得 $E(|Y_k|^2)$ 接着一个或多个接收机 16 可以求解等式 (1b) 以获得 $\text{SINR}_k[t]$ 的度量。

[0052] 某些实施方式采用了一个或多个接收机 16 的通信协议, 其用于测量信道 SINR, 即 $\text{SINR}_k[t]$ 。例如, VDSL 2 标准规定某些 DSL 收发机将测量在一组若干相邻 DSL 音上求平均的 SINR 的值, 并且接着将会把此类 SINR 的度量发送到经由 VDSL 2 协议与这些 DSL 收发机进行通信的 DSL 收发机。这里, 信道 SINR 表示单个信道的 SINR 或在若干相邻频率信道上求平均的信道的 SINR。示例性的 SINR 是用于 DSL 通信系统中的本地通信环路 3 的接收机处的 SINR 的值, 其中该值在大约 3 到 10 个相邻 DSL 音上求平均。

[0053] 现在参考图 2, 该方法 20 可以包括根据图 8 的方法 30 来估计信道矩阵的一个或多个非对角元素的幅度和相位。例如, 图 1、3、4、5、6 和 7 的发射机 14 可以执行方法 30 以估计针对物理通信链路 12 的信道矩阵的一个或多个此类非对角元素。

[0054] 在某些实施方式中, 在通过发射机和一个或多个接收机之间的物理通信链路来发送数据的同时执行方法 30。这些实施方式称为表现时间 (show-time) 实施方式。

[0055] 在某些实施方式中, 在不通过发射机和一个或多个接收机之间的物理通信链路来发送数据的同时执行方法 30。此类的实施方式称为安静时间实施方式。

[0056] 方法 30 包括在时间 t_0 : 处, 在第一连续通信时隙序列期间从发射机经由物理通信链路向一个或多个接收机发送第一形式的符号, 即 X 。在安静时间实施方式中, 发射机可以在第一序列的时隙中向一个或多个接收机发送预设的序列。例如, 预设的序列可以是固定导频序列, 相同数据符号 X 的序列、 $+X$ 和 $-X$ 的序列、空符号的序列, 或另一个预设的序列。

在表现时间 (show-time) 实施方式中,发射机可以在第一序列的时隙内向一个或多个接收机发送基本上任意变化的数据符号 X 的序列,例如属于用于经由物理通信信道发送数字数据的固定星座图的符号。即,表现时间实施方式支持发射机经由第一序列向一个或多个接收机发送基本上任意的数据序列。

[0057] 方法 30 包括在一个或多个第二通信时隙序列期间 (例如,连续时隙的序列) 经由物理通信链路从发射机向一个或多个接收机发送第二形式的符号 (步骤 34)。每个第二形式的符号将被写成 $X(m)$, 其中“ m ”对第二形式的符号的类型进行索引。存在 N 种第二形式的符号类型,其中 N 是信道数目。在第二序列之一的时隙 t_m 处,步骤 34 包括在第二序列的通信时隙中向物理通信链路发送第二形式的符号 $X(m)$ 。这里, $X(m)$ 具有是 X 的微扰的形式,其是第一序列的符号。具体地,第二形式的每个符号 $X(m)$ 满足 $X(m) = X + s \cdot E(m)$ 。在该等式中,每个 $E(m)$ 是代表发送到单个信道“ m ”的信号的基本矢量。

[0058] 例如,在图 4 的 DSL 系统 10B 中,基本矢量 $E(m)$ 仅具有针对发送到由“ m ”标记的本地通信环路 3 的信号的非零分量。对于不同的 m ,每个 $E(m)$ 可以例如是由“ m ”标记的本地通信环路的正弦波形。不同的本地 DSL 订户环路将对应于不同的“ m ”值。但是, $E(m)$ 将代表相同频率 (即,相同的 DSL 音) 的正弦波形。

[0059] 在某些 DSL 系统中,每个 $E(m)$ 可替换地代表单个本地通信环路 (即,DSL 订户线路) 上的一个频率 DSL 音。接着,对于不同的“ m ”值,本地通信环路和 / 或 DSL 音可以改变。

[0060] 在上面针对 $X(m)$ 的等式中, X 可以是针对第一序列的第一形式的符号的数字符号星座图的符号。在安静时间实施方式中,对于可以在步骤 32 处发送的相同预设序列 X ,发射机可以发送满足 $X(m) = X + s \cdot E(m)$ 的 $X(m)$ 。例如, X 的预设序列可以是固定的导频序列或可以是空信号的序列。在表现时间实施方式中,发射机可以针对不同于步骤 32 中那些的 X ,发送满足 $X(m) = X + s \cdot E(m)$ 的第二形式的符号 $X(m)$ 。表现时间实施方式可以在用于估计信道矩阵 H 的第一和第二序列中发送基本上任意的数据内容。如果步骤 34 包括发送多个第二序列,则信道“ m ”和相应的基本矢量 $E(m)$ 可以在第二序列的不同序列中不同。

[0061] 在每个第二序列中,定义这里的第二形式符号的形式的尺度因子 s 具有固定的幅度 δ 。相比较于第一形式符号的 X 的幅度, δ 的幅度可以大些或小些。在某些实施方式中,尺度因子 s 对于第二序列的每个时隙具有相同的值。在其他实施方式中,尺度因子 s 具有交替的符号,从而尺度因子的相应第二序列是可在一个或多个接收机中可区别地检测的 AC 电流。

[0062] 方法 30 包括在通信时隙的一个或多个第三序列期间,例如连续的时隙期间,从发射机经由物理通信链路向一个或多个接收机发送第三形式的符号 (步骤 36)。对于大约在时间 $t_{m,n}$ 处发送的第三序列,步骤 36 包括发送符号,即 $X(m, n)$,其形式又是符号在第一序列中可以具有的第一形式的微扰。具体地,每个符号 $X(m, n)$ 满足 $X(m, n) = X + s \cdot (E(m) + E(n)) / (2)^{0.5}$,其中 $E(m)$ 和 $E(n)$ 是上述涉及信道“ m ”和“ n ”的基本矢量,并且“ X ”是可以在第一序列中发送的第一形式符号。例如,在该等式中, X 可以再次属于针对第一序列的第一形式符号的数字符号星座图。在该安静时间实施方式中,对于在步骤 32 处发送的相同 X 或对于在步骤 32 处发送的相同预设序列,发射机可以发送满足 $X(m, n) = X + s \cdot (E(m) + E(n)) / (2)^{0.5}$ 的 $X(m, n)$ 。例如, X 的预设序列可以是固定导频序列或可以是空信号的序列。在表现时间实施方式中,发射机发送满足 $X(m, n) = X + s \cdot (E(m) + E(n)) /$

(2)^{0.5} 的符号 $X(m, n)$ 。这里, X 的时间序列可以不同于在步骤 32 处所发送的, 因为表现时间实施方式可以在第三序列中发送基本上任意的数据内容。如果步骤 36 包括发送多个第三序列, 则信道“ m ”和 / 或“ n ”以及相应的基本矢量 $E(m)$ 和 / 或 $E(n)$ 可以针对第三序列的多个不同序列而改变。

[0063] 方法 30 包括在通信时隙的一个或多个第四序列期间, 例如连续的时隙期间, 从发射机经由物理通信链路向一个或多个接收机发送第四形式的符号 (步骤 38)。对于大约在时间 $t'_{m, n}$ 处发送的第四序列, 步骤 38 包括发送符号, 即 $X'(m, n)$, 其也具有相对于第一序列中第一形式的符号的微扰形式。具体地, 每个此类的符号 $X'(m, n)$ 满足 $X'(m, n) = X + s \cdot (E(m) + ph \cdot E(n)) / (2)^{0.5}$, 其中相同类型的 $E(m)$ 和 $E(n)$ 是正交归一化基本矢量; “ ph ”是固定相位, 例如 $\exp(i \pi / 2)$; 并且“ X ”又是第一形式的符号。例如, 对于第一序列中的第一形式的符号, 该等式的 X 可以在数字符号星座图中。在安静时间实施方式中, 对于在步骤 32 处发送的 X 的相同预设序列, 发射机可以发送满足 $X'(m, n) = X + s \cdot (E(m) + ph \cdot E(n)) / (2)^{0.5}$ 的 $X'(m, n)$ 。例如, X 的预设序列可以是固定导频或可以是空信号的序列。在表现时间实施方式中, 对于不同于在步骤 32 处发送的那些的 X , 发射机可以发送满足 $X'(m, n) = X + s \cdot (E(m) + ph \cdot E(n)) / (2)^{0.5}$ 的符号 $X'(m, n)$ 。再次, 表现时间实施方式可以在第四序列中发送基本上任意的数据内容。如果步骤 38 包括发送多个第四序列, 则对应于基本矢量 $E(m)$ 和 / 或 $E(n)$ 的信道“ m ”和 / 或“ n ”可以针对不同的第四序列而改变。

[0064] 对于每个第三和第四序列, 尺度因子 s 具有相同的幅度 δ ; 如关于步骤 34 所讨论的那样。对于第三和第四序列的每个时隙, 尺度因子 s 可以具有相同的值, 或可以具有在这样的序列中符号交替的值, 以便实现在接收机处的有区别的检测。

[0065] 方法 30 包括接收针对第一、第二、第三和第四通信时隙序列所测量的信道 SINR 的值 (步骤 40)。发射机接收从接收机接收到的测量的信道 SINR 或根据直接表示其的特性来评估它们, 并且可以识别已接收其信道 SINR 的那些序列。

[0066] 方法 30 进一步包括根据信道 SINR 或单个信道 SINR 来评估信道矩阵的一个或多个非对角元素的幅度, 该信道 SINR 或单个信道 SINR 在步骤 40 处接收并且针对第一和第二时隙序列来测量 (步骤 42)。对于信道 k , 在时间“ t ”处的相应单个信道 SINR 将表示为 $\text{SINR}_k[t]$ 。可以在时间“ t_m ”处根据所接收的针对一个第二序列的时隙的每信道功率的度量确定每个 $\text{SINR}_k[t_m]$ 。例如, 在时间“ t_m ”处, 一个或多个接收机测量第二序列的时隙上的 $E(|Y_k(m) - d_k \cdot X_k|^2)$ 或 $E(|Y_k(m)|^2)$ 。类似地, 在时间“ t_0 ”处根据所接收的针对第一序列的时隙的单个信道功率的接收机度量来确定每个 $\text{SINR}_k[t_0]$, 或通过在相邻频带上对其求平均 (例如, 在第一序列的时隙上 $E(|Y_k - d_k \cdot X_k|^2)$ 或 $E(|Y_k|^2)$ 的度量) 来确定每个 $\text{SINR}_k[t_0]$ 。信道矩阵的每个非对角元素的估计使用在步骤 40 处接收的信道 SINR。

[0067] 由于在时间 t_m 处第二序列的发送数据符号 $X(m)$ 具有形式 $X + s \cdot E(m)$; 针对此类第二序列的对象 $E(|Y_k(m)|^2)$ 和 $E(|Y_k(m) - d_k \cdot X_k|^2)$ 具有以下的形式:

$$[0068] \quad E(|Y_k(m) - d_k X_k|^2) |_{t_m} = E(|Y_k - d_k X_k + s(H \cdot E(m))_k|^2) |_{t_0}$$

$$[0069] \quad \approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + |s H_{k,m}|^2 \quad (2a)$$

[0070] 以及

$$[0071] \quad E(|Y_k(m)|^2) |_{t_m} = E(|Y_k + s \cdot (H \cdot E_m)_k|^2) |_{t_0} \approx E(|Y_k|^2) |_{t_0} + |s|^2 |H_{k,m}|^2 \quad (2b)$$

[0072] 在等式 (2a) 和 (2b) 中,期望线性“s”项基本上平均为其幅度相比较于 $|s|$: 小的值,假如第二序列足够长。即,长的第二序列将线性“s”项在一组 X (通常该 X 在信道“m”上的投影近似于随机) 上求平均,从而线性“s”项具有小的幅度。根据等式 (2a)-(2b) 以及 (1a)-(1b),在时间“ t_m ”处的第二序列的 $SINR_k[t_m]$ 可以重新写为:

$$[0073] \quad SINR_k[t_m] = \frac{|d_k|^2 P_k}{E(|Y_k - d_k X_k|^2)|_{t_0} + |s|^2 |H_{k,m}|^2} \quad (3a)$$

[0074] 或

$$[0075] \quad SINR_k[t_m] = \frac{|d_k|^2 P_k}{E(|Y_k|^2)|_{t_0} - |d_k|^2 P_k + |s|^2 |H_{k,m}|^2} \quad (3b)$$

[0076] 根据针对 $SINR_k[t_m]$ 的等式 (3a) 或 (3b) 以及针对 $SINR_k[t_0]$: 的等式 (1a) 或 (1b), 信道矩阵 H 的第 (k, m) 个非对角元素可以通过下式给出:

$$[0077] \quad |H_{k,m}|^2 = \frac{|d_k|^2 P_k}{|s|^2} \left(\frac{1}{SINR_k[t_m]} - \frac{1}{SINR_k[t_0]} \right) \quad (4)$$

[0078] 等式 (4) 用于从接收到的信道 SINR 的度量来评估信道矩阵 H 的非对角元素的幅度。事实上,在步骤 42 之前,基于接收到的 $SINR_k[t_0]$ 和 $SINR_k[t_m]$: 的值、 $|s|$ 的预先选择值和已知值以及发射机和 / 或一个或多个接收机的度量 d_k 和 P_k , 发射机可以评估等式 (4) 的右手侧。

[0079] 在发送符号 (即, $X(m)$) 的单个第二序列的方法 30 的实施方式中,评估步骤 42 可以确定每个非对角元素 $H_{k,m}$ 的幅度,对于其,在接收步骤 40 处接收相应的信道 k 的 SINR。如果接收步骤 40 包括接收针对每个信道的信道 SINR,则可以执行评估步骤 42 以确定信道矩阵 H 的整个第 m 列的非对角元素。

[0080] 如果方法 30 的实施方式包括发送数据符号 (即 $X(n)$, 其中 $n \neq m$,) 的多个第二序列,则评估步骤 42 可以确定信道矩阵 H 的一个或多个其他列中的非对角元素的幅度。

[0081] 如果方法 30 的实施方式包括发送 N 个第二序列,其中 N 是信道矩阵的维数,则可以执行评估步骤 42 以确定信道矩阵的所有非对角元素的幅度。

[0082] 方法 30 也包括根据在步骤 40 处所接收的并且针对时隙的第一、第二、第三和第四序列所测量的信道 SINR 来估计信道矩阵 H 的一个或多个非对角元素的相位。根据针对时间 $t_{m,n}$ 的第三序列的时隙所接收的信道功率的一个或多个接收机的度量 (例如在时间 $t_{m,n}$ 的第三序列的时隙上的 $E(|Y_k(m,n) - d_k \cdot X_k|^2)$ 或 $E(|Y_k(m,n)|^2)$ 的度量),获得针对第三序列的每个 $SINR_k[t_{m,n}]$ 。从针对时间 $t'_{m,n}$ 的第四序列的时隙的单个信道功率的一个或多个接收机的度量 (例如,在时间 $t'_{m,n}$ 的第四序列的时隙上的 $E(|Y'_k(m,n) - d_k \cdot X_k|^2)$ 或 $E(|Y'_k(m,n)|^2)$ 的度量,或在若干个相邻频带上对其求平均),确定第四序列的每个 $SINR_k[t'_{m,n}]$ 。

[0083] 在某些实施方式中,估计步骤 44 根据描述第三和第四序列的时隙上的时间平均来确定一个或多个非对角元素的相对相位。在时间 $t'_{m,n}$ 的第三序列中,发送的数据符号 $X(m,n)$: 具有的形式为 $X + s \cdot (E(m) + E(n)) / (2)^{0.5}$ 。因此,对象 $E(|Y_k(m,n)|^2)$ 和 $E(|Y_k(m,n) - d_k \cdot X_k|^2)$: (其在所述第三序列上求平均) 具有下面的形式:

$$[0084] \quad E(|Y_k(m,n) - d_k X_k|^2)|_{t_{m,n}} = E(|Y_k - d_k X_k + s[H \cdot E_m + H \cdot E_n] / \sqrt{2}|^2)|_{t_0}$$

$$[0085] \quad \approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} \cdot |H_{k,m} + H_{k,n}|^2 \quad (5a)$$

$$[0086] \quad \approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0}$$

$$[0087] \quad + \frac{|s|^2}{2} \cdot [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \cdot \cos(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})]$$

[0088] 和

[0089]

$$E(|Y_k(m,n)|^2) |_{t_{m,n}} \approx E(|Y_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \cos(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})].$$

(5b)

[0090] 这里, $H_{km} = M_{km} \cdot \exp(i\phi_{k,m})$, 其中 M_{km} 和 $\phi_{k,m}$ 是 H_{km} 的相应幅度和相位。在时间 $t'_{m,n}$ 的第四序列中, 发送的数据符号 $X'(m,n)$ 具有的形式为 $X + s \cdot (E(m) + ph \cdot E(n)) / (2)^{0.5}$ 。因此, 如果“ph”是“i”, 则在所述第四序列上求平均的对象 $E(|Y'_k(m,n)|^2)$ 和 $E(|Y'_k(m,n) - d_k \cdot X_k|^2)$ 具有的形式为:

$$[0091] \quad E(|Y'_k(m,n) - d_k X_k|^2) |_{t'_{m,n}} = E(|Y_k - d_k X_k + s[H \cdot E_m + e^{i\pi/2} H \cdot E_n] / \sqrt{2}|^2) |_{t_0}$$

$$[0092] \quad \approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} \cdot |H_{k,m} + e^{i\pi/2} H_{k,n}|^2 \quad (6a)$$

$$[0093] \quad \approx E(|Y_k - d_k X_k|^2) |_{t_0}$$

$$[0094] \quad + \frac{|s|^2}{2} \cdot [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \cdot \sin(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})]$$

[0095] 和

[0096]

$$E(|Y'_k(m,n)|^2) |_{t'_{m,n}} \approx E(|Y_k|^2) |_{t_0} + \frac{|s|^2}{2} [|H_{k,m}|^2 + |H_{k,n}|^2 + 2|H_{k,m}| \cdot |H_{k,n}| \sin(\phi_{k,m} - \phi_{k,n})].$$

(6b)

[0097] 从等式 (1a)、(1b)、(2a)、(2b)、(5a)、(5b)、(6a) 和 (6b), 可以看出在时间 $t_0, t_m, t_{m,n}$: 和 $t'_{m,n}$ 处的信道 SINR 定义信道矩阵 H 的非对角元素的相位相对于信道矩阵 H 的对角元素的相位的余弦和正弦。例如,

[0098] 其中:

$$[0099] \quad \cos(\phi_{k,m} - \phi_{k,n}) = \frac{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_{m,n}]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_n]} \right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right) \cdot \left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_n]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right)}} \quad (6a)$$

[0100] 和

$$[0101] \quad \sin(\phi_{k,m} - \phi_{k,n}) = \frac{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t'_{m,n}]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{2 \cdot \text{SINR}_k[t_n]} \right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_m]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right) \cdot \left(\frac{1}{\text{SINR}_k[t_n]} - \frac{1}{\text{SINR}_k[t_0]} \right)}}. \quad (6b)$$

[0102] 因此,在某些实施方式中,步骤 44 可以涉及评估等式 (6a) 和 (6b) 的右手侧以评估信道矩阵 H 的列中的一个或多个非对角元素的相对于相同列的对角元素的相位的相位。步骤 44 可以涉及利用 $\text{SINR}_k[t_0]$: 的测量的值、以及在接收步骤 40 处接收的 $\text{SINR}_k[t_m]'$:、 $\text{SINR}_k[t_{m,n}]'$ 和 $\text{SINR}_k[t'_{m,n}]'$: 的度量来评估等式 (6a) 和 (6b) 的右手侧。

[0103] 在各种实施方式中,步骤 44 可以或可以不包括确定信道矩阵 H 的一个或多个非对角元素的绝对相位。在某些实施方式中,步骤 44 可以包括向非对角元素的相对相位增加信道矩阵 H 的相同列的对角元素的测量的绝对相位。所述对角元素的相位例如可以是针对直接信道增益 d_k 的相位。在其他实施方式中,步骤 44 并不找到此类非对角元素的绝对相位。例如,发射机可以包括预编码器,其配置成基于由方法 30 所确定的非对角元素的幅度和相对相位来对角化物理通信链路。此类对角化可以在不需要非对角元素的绝对相位的情况下执行。事实上,所述元素相对于相同列的对角元素的相对相位可足以通过此类的预编码器来执行信道矩阵 H 的此类对角化。

[0104] 如果方法 30 的实施方式涉及发送仅一个第三序列和仅一个第四序列,则可以执行相位估计步骤 44 以确定非对角元素的相对相位,对于该非对角元素,在步骤 40 处接收对应信道 k 的 SINR。如果接收步骤 40 包括接收针对 N-1 个信道的信道 SINR,则可以执行相位估计步骤 44 以评估信道矩阵 H 的整个第 m 列的非对角元素的相对相位。

[0105] 如果方法 30 的实施方式包括发送数据符号的多个第二、第三和第四序列,则可以在信道矩阵的多个列中获得信道矩阵的非对角元素的相对相位的方式来执行步骤 44。

[0106] 如果方法 30 的实施方式包括发送数据符号的多个第二、第三和第四序列,则可以执行方法 30 以评估信道矩阵 H 的每个非对角元素的此类相对相位。

[0107] 在图 2 和 8 的方法 20 和 / 或 30 的其他实施方式中,在步骤 32、34、36 和 38 的第二、第三和 / 或第四序列中发送的符号可以具有与在步骤 32 的第一序列中发送的第一形式符号不同微扰的形式。例如,此类第二、第三、和 / 或第四序列中的一个或多个序列的每个符号 X'' 可以通过关系式 $X'' = Q \cdot X$ 或可替换地,通过关系式 $X'' = Q \cdot X + D$ 而与第一序列的星座图的符号 (即, X) 相关,其中 Q 是固定的 $N \times N$ 矩阵并且 D 是固定长度 N 的矢量。可以修改如这里所述的图 8 的方法 30 的示例性实施方式,以在其中测量信道 SINR 的第二、第三和 / 或第四序列中发送此类符号 X'' : ,并且可以修改步骤 42 和 44 以便能够评估信道矩阵 H 的非对角元素。

[0108] 可以使图 1 的发射机 14 和一个或多个接收机 16 来执行上述的方法 30 的任意实施方式,以确定针对物理通信链路 12 的信道矩阵的非对角元素。因此,发射机 14 的实施方式可以估计信道矩阵 H 的一个或多于一个的非对角元素的幅度以及绝对相位或相对相位。

[0109] 图 9 图示出在图 1 的通信系统 10 中使用的示例性发射机 14。示例性发射机 14 配置成执行如图 2 和图 8 中所示出的方法 20 和 30 的步骤。发射机 14 包括发射机设备 (Tx)、接收机设备 (Rx)、数字处理器 (DP)、有源数字存储器 (DM)、数据存储设备 (DSD)、以及通信总线 (CB)。发射机设备 Tx 被配置且被连接,以向由物理通信链路 12 所支持的 N 个信道发

送 N 个符号流,使得数据流被发送到接收机 16。接收机设备 Rx 被连接以例如经由物理通信链路 12 来从接收机 16 接收符号。具体地,接收机设备 Rx 能够从接收机 16 接收每个信道的 SINR,并且被配置成或可被控制为将所述每个信道的 SINR 存储到有源数字存储器 DM。数字处理器 DP 配置成控制发射机 Tx 和接收机 Rx 并且执行存储在有源数字存储器 DM 中的程序。有源数字存储器 DM 存储一个或多个指令程序,其中一个或多个程序采用可由数字处理器 DP 执行的形式。一个或多个程序包括执行图 2 和图 8 的方法 20 和 30 的步骤的指令。有源数字存储器 DM 也可以存储用于在执行所述指令中使用的数据,例如,在图 2 的步骤 22 处和 / 或在图 8 的步骤 40 处所接收的信道 SINR 的测量的值。数据存储设备 DSD 可以包括磁盘或光盘以及相关联的盘读取器和 / 或可以包括硬驱动器。数据存储设备 DSD 存储用于执行图 2 和图 8 的方法 20 和 / 或 30 的程序指令。所述程序以可由数字处理器 DP 执行的形式存储。通信总线 CB 配置成支持数字处理器 DP、发射机设备 Tx、接收机设备 Rx、有源数字存储器 DM 和数据存储设备 DSD 之间的通信。

[0110] 发射机设备 Tx 也可以包括可由数字处理器 DP 配置和 / 或控制的预编码器 (P)。具体地,可以配置或控制预编码器 P 来使得发射机设备 Tx 发送具有如图 8 的方法 30 的步骤 32、34、36 和 38 中所描述的第一、第二、第三和第四序列形式的数据符号。此外,预编码器可以配置成以有效地对物理通信链路 12 对角化的方式来对 N 个符号流应用线性变换。即,预编码器 P 可以对 N 个符号流应用线性变换,使得它们的通过物理通信链路 12 传输的后续变换基本上不混合一个或多个接收机 16 处的不同符号流的符号。预编码器 P 配置成基于由图 2 和图 8 的方法 20 和 / 或 30 所确定的信道矩阵 H 的形式来执行此类的有效对角化。事实上,可以基于矩阵 M 的非对角元素的幅度和相对相位来配置预编码器 P。

[0111] 根据本发明的公开内容、附图和权利要求书,本发明的其他实施方式对于本领域技术人员来说将是显而易见的。

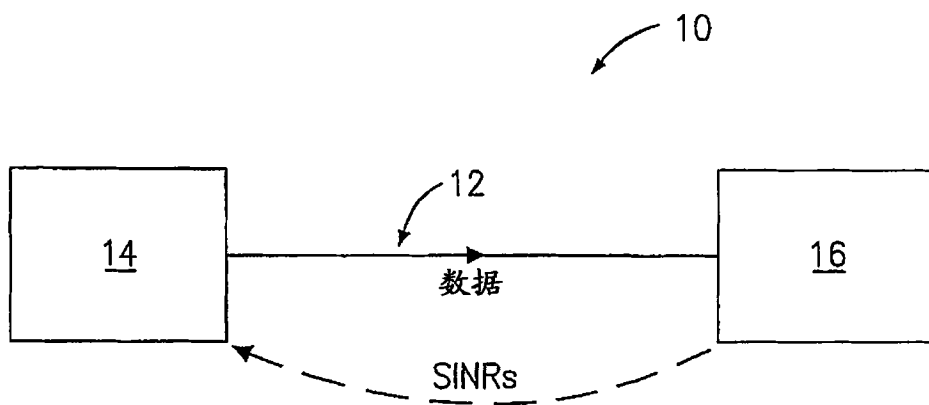


图 1

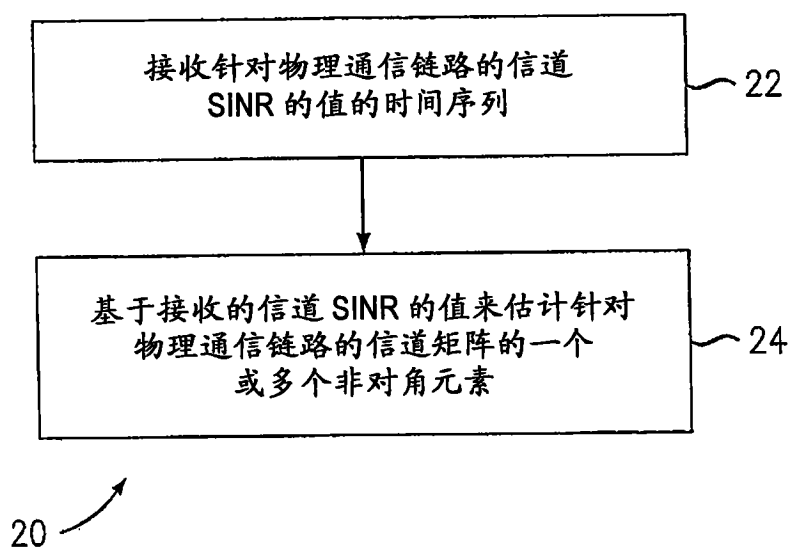


图 2

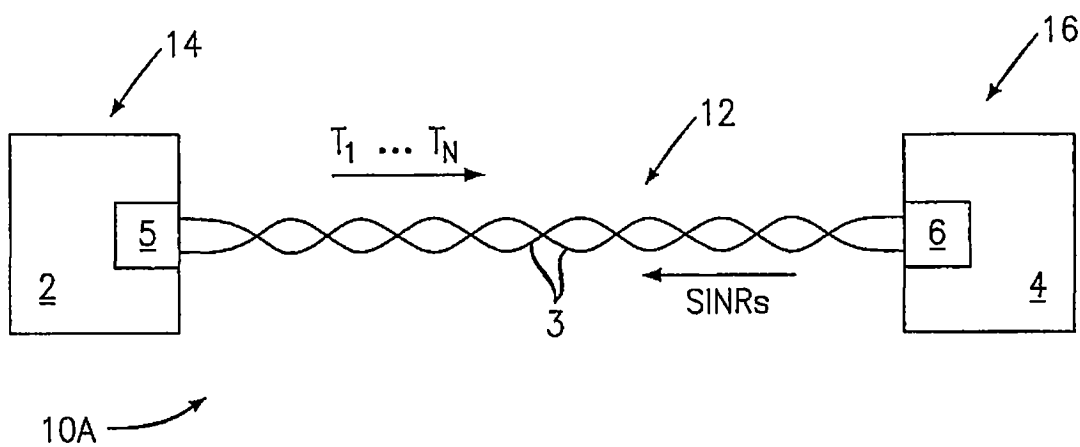


图 3

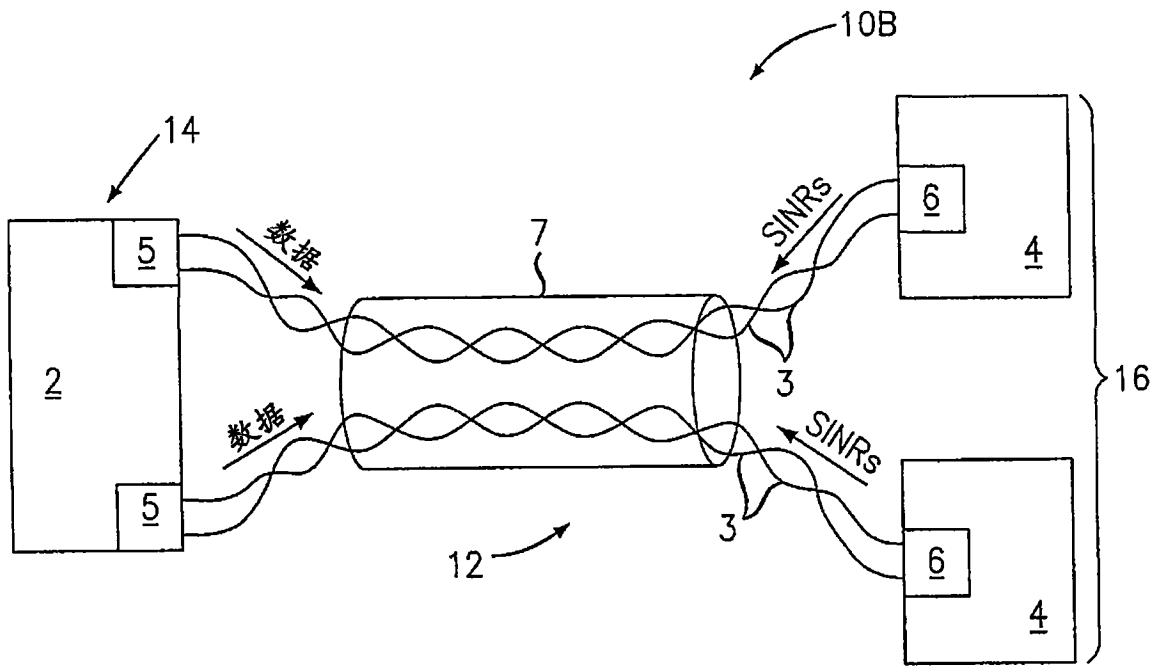


图 4

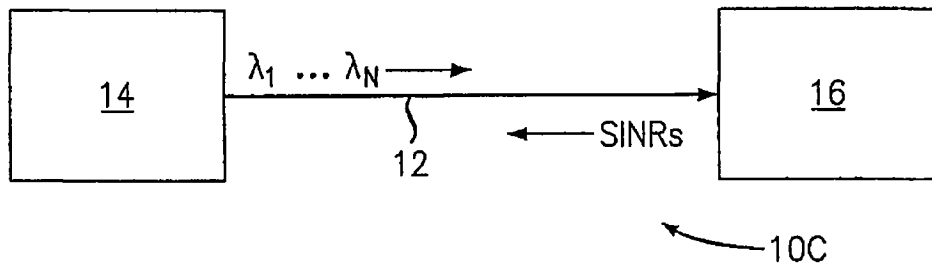


图 5

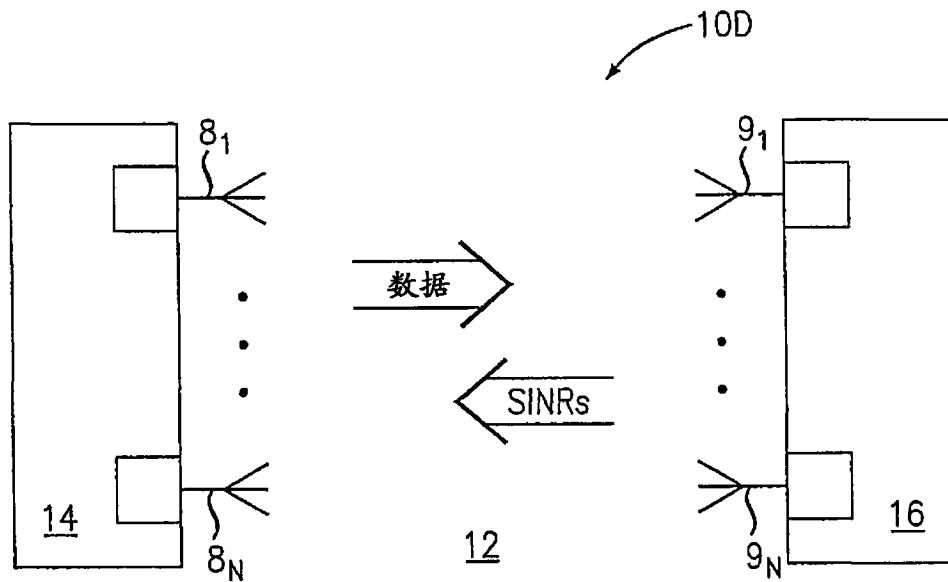


图 6

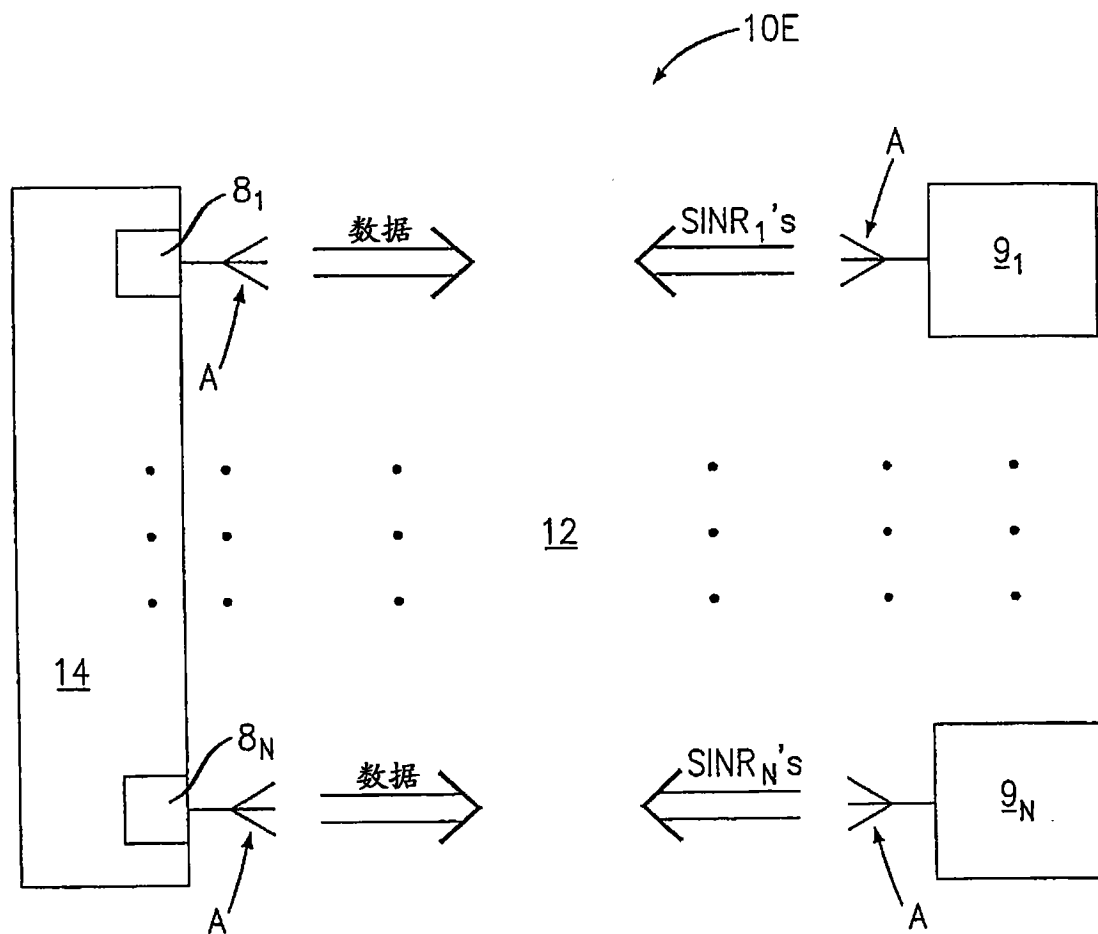


图 7

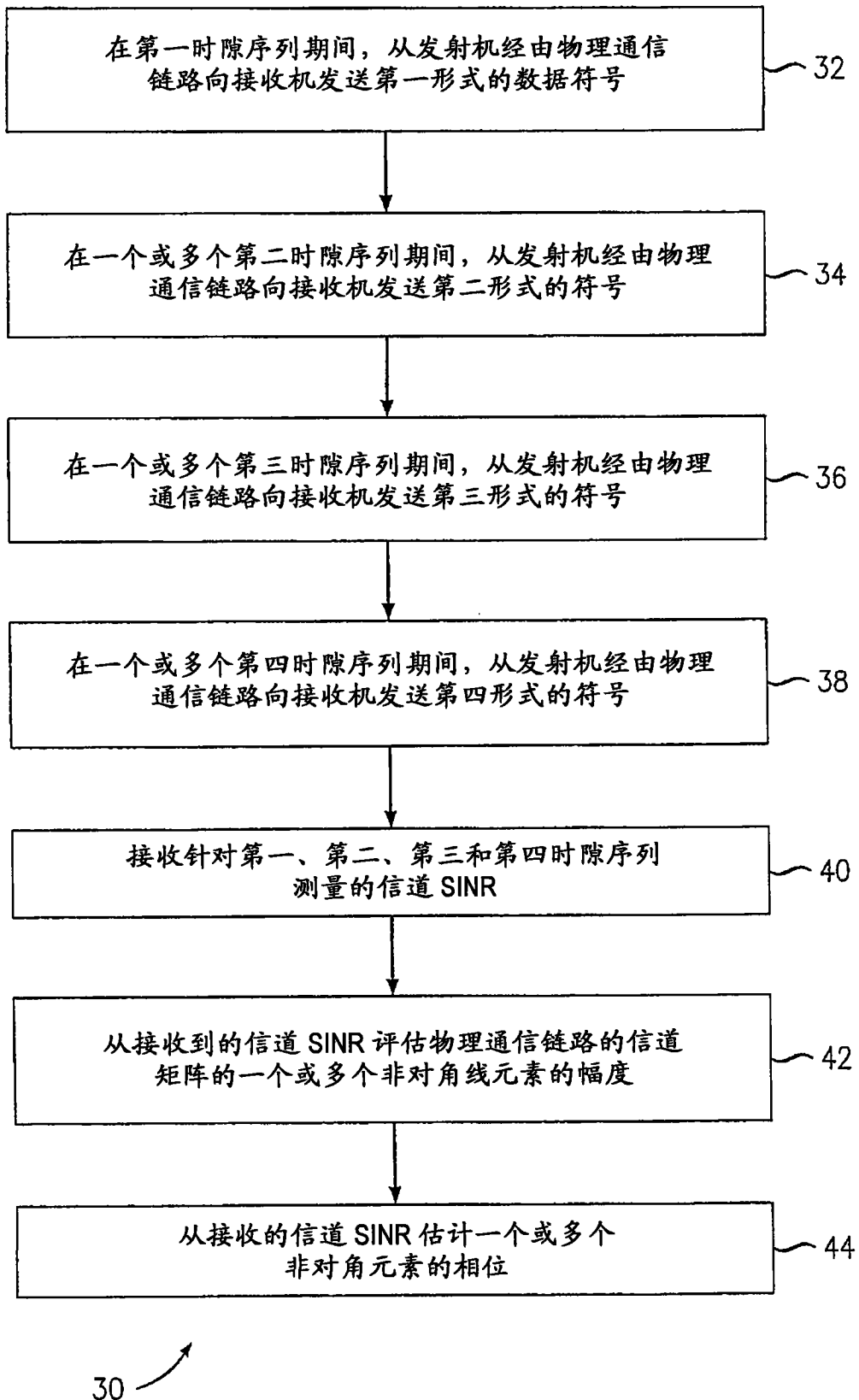


图 8

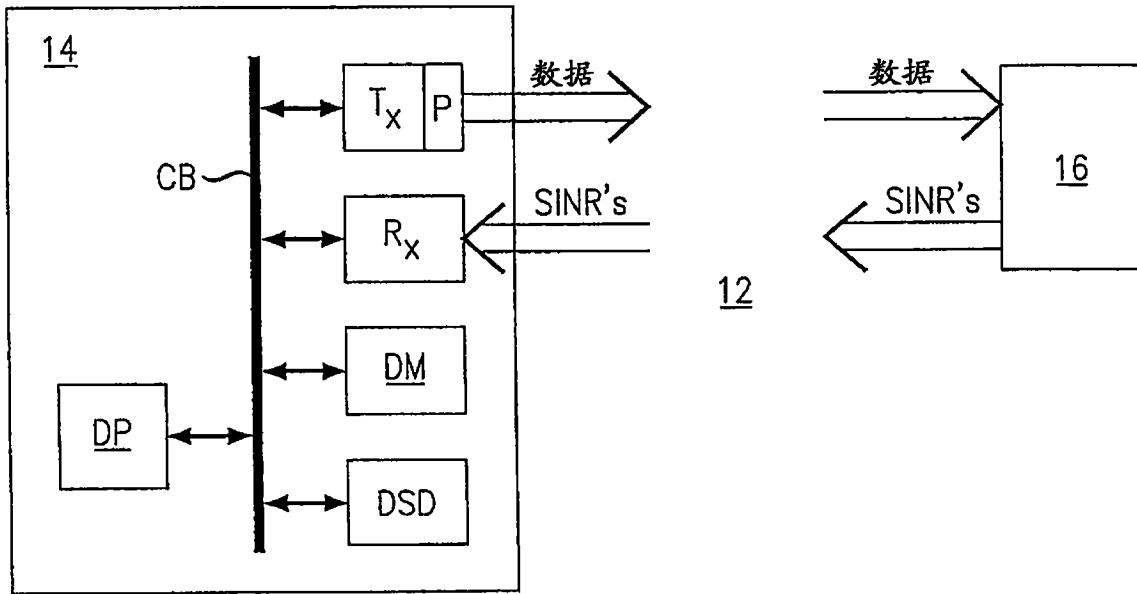


图 9