



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102057644 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 26

(21) 申请号 200980122250. X

代理人 汤春龙 王洪斌

(22) 申请日 2009. 04. 08

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H04L 27/26 (2006. 01)

08154371. 2 2008. 04. 11 EP

61/047269 2008. 05. 19 US

(56) 对比文件

WO 2004/025918 A1, 2004. 03. 25, 全文 .

CN 1489852 A, 2004. 04. 14, 全文 .

CN 1902834 A, 2007. 01. 24, 全文 .

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 12. 09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2009/054183 2009. 04. 08

审查员 张琦

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/124953 EN 2009. 10. 15

(73) 专利权人 爱立信电话股份有限公司

地址 瑞典斯德哥尔摩

(72) 发明人 N·安德加尔特 L·威廉森

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

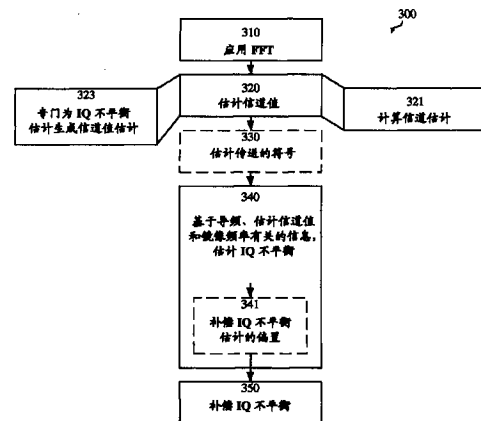
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

用于估计 IQ 不平衡的方法和布置

(57) 摘要

本文公开了一种估计收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡的布置。布置包括适用于将收到的 OFDM 信号变换到频域的 FFT 单元 (410)。频域包括多个副载频, 并且变换的收到的 OFDM 信号包括一个或多个副载频上的导频符号和一个或多个其它副载频上的不同于导频符号的符号。布置也包括信道估计电路 (430, 445) 和适用于基于至少导频符号之一、至少一个导频符号的副载频的确定的估计信道值、在与至少一个导频符号相关联的对应镜像副载频上传送的信息符号的估计及与至少一个导频符号相关联的对应镜像副载频的估计信道值来估计 IQ 不平衡的 IQ 不平衡估计单元 (440)。其中, 对应镜像副载频包括不同于导频符号的符号。也公开了对应的方法和计算机程序产品。



1. 一种适合在通信接收器中使用的、估计收到的正交频分复用信号 -OFDM 信号- 的同相 / 正交不平衡 -IQ 不平衡- 的方法, 包括:

将所述收到的 OFDM 信号变换 (310) 到频域, 其中所述频域包括多个副载频, 并且所述变换的收到的 OFDM 信号包括一个或多个副载频上的第一类型的符号和一个或多个其它副载频上的第二类型的符号, 所述第一类型的符号是导频符号, 并且所述第二类型的符号是不同于导频符号的符号; 以及

确定 (320) 至少一个所述副载频的估计信道值, 其中所述变换的收到的 OFDM 信号包括所述第一类型的符号;

其特征在于

基于至少一个所述第一类型的符号、所述至少一个所述第一类型的符号的所述副载频的所述确定的估计信道值及与所述至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的信息, 估计 (340) 所述 IQ 不平衡, 其中所述对应镜像副载频包括所述第二类型的符号, 以及其中与所述至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的所述信息包括以下任意之一或两者:

在所述对应镜像副载频上传送的信息符号的估计和所述对应镜像副载频的估计信道值; 以及

所述对应镜像副载频上收到的符号。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述对应镜像副载频有关的所述信息包括所述对应镜像副载频上传送的信息符号的估计和所述对应镜像副载频的估计信道值, 以及其中所述方法还包括:

确定 (330) 所述传送的信息符号的所述估计; 以及

确定 (320) 所述对应镜像副载频的所述估计信道值。

3. 如权利要求 2 所述的方法, 其中确定所述传送的信息符号的所述估计的所述步骤包括以下之一:

将收到的符号除以所述估计信道值;

做出有关所述传送的信息符号的判决; 以及

将所述收到的 OFDM 信号解码, 并基于所述解码的 OFDM 信号重新生成所述传送的信息符号的估计。

4. 如权利要求 1 到 3 任一项所述的方法, 其中确定估计信道值的所述步骤包括确定 (321) 信道估计, 所述方法还包括:

应用 (322) 偏置补偿换算因子到所述 IQ 不平衡估计或所述信道估计。

5. 如权利要求 1 到 3 任一项所述的方法, 其中确定副载频的估计信道值的所述步骤包括从所述估计信道值中排除 (323) 所述副载频的符号。

6. 如权利要求 1 到 3 任一项所述的方法, 其中估计所述 IQ 不平衡的所述步骤包括基于所述第一类型的多个符号和基于所述对应镜像副载频估计所述 IQ 不平衡。

7. 如权利要求 1 到 3 任一项所述的方法, 其中估计所述 IQ 不平衡的所述步骤包括基于多个 OFDM 符号估计所述 IQ 不平衡。

8. 如权利要求 1 到 3 任一项所述的方法, 其中估计所述 IQ 不平衡的所述步骤包括基于所述第一类型的可用符号的子集估计所述 IQ 不平衡。

9. 如权利要求 1 到 3 任一项所述的方法,还包括使用所述估计的 IQ 不平衡执行所述收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡补偿 (350)。

10. 一种适合在通信接收器中使用的、估计收到的正交频分复用信号 -OFDM 信号- 的同相 / 正交不平衡 -IQ 不平衡- 的设备,包括:

将所述收到的 OFDM 信号变换 (310) 到频域的部件,其中所述频域包括多个副载频,并且所述变换的收到的 OFDM 信号包括一个或多个副载频上的第一类型的符号和一个或多个其它副载频上的第二类型的符号,所述第一类型的符号是导频符号,并且所述第二类型的符号是不同于导频符号的符号;以及

确定 (320) 至少一个所述副载频的估计信道值的部件,其中所述变换的收到的 OFDM 信号包括所述第一类型的符号;

其特征在于

基于至少一个所述第一类型的符号、所述至少一个所述第一类型的符号的所述副载频的所述确定的估计信道值及与所述至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的信息,估计 (340) 所述 IQ 不平衡的部件,其中所述对应镜像副载频包括所述第二类型的符号,以及其中与所述至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的所述信息包括以下任意之一或两者:

在所述对应镜像副载频上传送的信息符号的估计和所述对应镜像副载频的估计信道值;以及

所述对应镜像副载频上收到的符号。

11. 一种用于估计收到的正交频分复用信号 -OFDM 信号- 的同相 / 正交不平衡 -IQ 不平衡- 的装置,包括:

快速傅立叶变换单元 -FFT 单元 (410, 410') ,适用于将所述收到的 OFDM 信号变换到频域,其中所述频域包括多个副载频,以及所述变换的收到的 OFDM 信号包括一个或多个副载频上的第一类型的符号和一个或多个其它副载频上的第二类型的符号,所述第一类型的符号是导频符号,并且所述第二类型的符号是不同于导频符号的符号;以及

信道估计电路 (430, 430' , 445, 445') 适用于确定至少一个所述副载频的估计信道值,其中所述变换的收到的 OFDM 信号包括所述第一类型的符号;

其特征在于还包括:

IQ 不平衡估计单元 (440, 440') ,适用于基于至少一个所述第一类型的符号、所述至少一个所述第一类型的符号的所述副载频的所述确定的估计信道值及与所述至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的信息而估计所述 IQ 不平衡,其中所述对应镜像副载频包括所述第二类型的符号,以及其中与所述至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的信息包括以下任意之一或两者:

在所述对应镜像副载频上传送的信息符号的估计和所述对应镜像副载频的估计信道值;以及

所述对应镜像副载频上收到的符号。

12. 如权利要求 11 所述的装置,其中所述对应镜像副载频有关的所述信息包括在所述对应镜像副载频上传送的信息符号的估计和所述对应镜像副载频的估计信道值,其中所述信道估计电路 (430, 430' , 445, 445') 还适用于确定所述对应镜像副载频的估计信道值,

以及其中所述装置还包括适用于确定在所述对应镜像副载频上所述传送的信息符号的所述估计的电路 (443, 443' , 470, 470' , 480, 480' , 490, 490')。

13. 如权利要求 12 所述的装置, 其中适用于确定在所述对应镜像副载频上所述传送的信息符号的所述估计的所述电路 (443, 443' , 470, 470' , 480, 480' , 490, 490') 适用于:
将收到的符号除以所述估计信道值; 或者
做出有关所述传送的信息符号的判决; 或者
将所述收到的 OFDM 信号解码, 并基于所述解码的 OFDM 信号重新生成所述传送的信息符号的估计。

14. 如权利要求 11 到 13 任一项所述的装置, 其中所述信道估计电路包括信道估计器 (430, 430'), 所述估计信道值是信道估计, 并且所述 IQ 不平衡估计单元还适用于应用偏置补偿换算因子到所述 IQ 不平衡估计或所述信道估计。

15. 如权利要求 11 到 13 任一项所述的装置, 其中信道估计电路 (445, 445') 包括在所述 IQ 不平衡估计单元 (440, 440') 中, 并适用于通过从所述估计信道值中排除所述副载频的符号, 确定副载频的估计信道值。

16. 如权利要求 11 到 13 任一项所述的装置, 还包括适用于基于所述估计的 IQ 不平衡, 执行所述收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡补偿的 IQ 不平衡补偿器 (420, 420')。

17. 一种包括如权利要求 11 到 16 任一项所述装置的 OFDM 接收器。

18. 一种包括如权利要求 17 所述 OFDM 接收器的电子通信装置。

19. 如权利要求 18 所述的电子通信装置, 其中所述电子通信装置符合通用移动通信标准长期演进 -UMTS LTE。

用于估计 IQ 不平衡的方法和布置

技术领域

[0001] 本发明一般涉及估计同相 / 正交不平衡 (IQ 不平衡) 的领域。更具体地说, 它涉及估计收到的正交频分复用信号 (OFDM 信号) 的 IQ 不平衡。

背景技术

[0002] 诸如通用移动通信标准长期演进 (UMTS LTE) 等许多基于 OFDM 的系统要求系统的接收器能够处理收到的 OFDM 信号以获得较高的信噪比 (SNR)。接收器应能够处理信号而不带来损害或噪声 (或至少不带来有严重性质的损害或噪声)。此外, 服务器应能够为由传送收到的 OFDM 信号通过的信道带来的损害和 / 或噪声进行调整。

[0003] 还有, 许多基于 OFDM 的系统采用复杂的传输方案, 如多输入多输出 (MIMO) 和 / 或大信号星座, 这可进一步增大对接收器的需求。

[0004] 为能够满足在 OFDM 系统中操作的接收器中高 SNR 的此类需求, 可能需要昂贵的无线电设计。可采用能够处理由非最佳无线电设计产生的无线电缺陷的备选 (或附加) 方法。

[0005] 一个无线电缺陷是 IQ 不平衡。IQ 不平衡是更多限制性无线电缺陷之一, 并且因此对至少抑制的处理很重要。

[0006] IQ 不平衡可由以不同方式影响收到的 OFDM 信号的同相 (I) 和正交 (Q) 分量的任何事物生成。IQ 不平衡的一个示例来源是接收器或发送器 (或两者) 的本地振荡器。IQ 不平衡的另一示例来源是在接收器链的相应 I 和 Q 路径中一个或多个块之间的失配。可遇到此类失配的块的示例是放大器和信道滤波器。

[0007] IQ 不平衡能够在接收器中建模为在同相与正交振荡器分量 (即, 载波) 之间相位和幅度的差别。在下变频混频器中将收到的信号下变频为基带信号后, 相位和幅度的此差别导致了在基带信号的同相与正交分量之间的泄漏。因此, 符号的实部将影响符号的虚部, 且反之亦然。

[0008] 在 OFDM 中, 在多个副载波 (或副载频) 上并行传送数据, 这可通过在发送器中使用快速傅立叶逆变换 (IFFT), 以及在接收器中使用快速傅立叶变换 (FFT) 而有效地实现。如果 FFT 的大小为 N, 则在 FFT 的输出的 N 个样本称为 OFDM 符号 (即, 频域 OFDM 符号)。

[0009] 每个 OFDM 符号因此包括 N 个副载波上的数据。每个此类数据段将称为符号 (与 OFDM 符号不同), 并且可包括导频符号或信息符号。在 UMTS LTE 中, 如上所述的符号可称为资源元素, 并且导频符号可称为参考信号。

[0010] 在基于 OFDM 的系统中, 基带信号因此在接收器中变换成频域信号, 并且这一般通过应用 FFT 到基带信号来实现。变换到频域时, IQ 不平衡影响频率对中的频域信号。因此, 在副载波 N-k 上的符号泄漏到副载波 k 上, 且反之亦然。这可通过以下频域表达式表示:

$$[0011] \quad Y_{IQ}(k) = K_1 Y_0(k) + K_2 Y_0^*(N-k), \quad (1)$$

[0012] 其中, * 表示共轭, K_1 和 K_2 是取决于相位和幅度失配的因子 (例如, 在接收器链的相应 I 和 Q 路径中块的本地振荡器中), $Y_0(k)$ 是在没有 IQ 不平衡时收到的信号本应是的值, 以及 $Y_{IQ}(k)$ 是实际收到的信号。可注意到的是, 副载波 N-k 的表示与副载波 -k 相当。

这是由于 FFT 的 N 周期性的原因。在本申请通篇中,副载波 N-k 将表示副载波 k 的镜像副载波,并且副载波 k 和 N-k 将表示频率对。

[0013] 从一个副载波到另一副载波的泄漏是某种形式的载波间干扰 (ICI),并且将降低接收器中的 SNR。因此,为在顾及更不昂贵的无线电设计的同时实现高 SNR,最好可测量(或估计) IQ 不平衡,并且在收到的信号上对于估计 IQ 不平衡而执行补偿。例如,能够估计值 $\rho = K_2/K_1^*$ 。估计值 $\hat{\rho}$ 随后能用于在收到的信号上执行补偿。例如可基于已知导频值和已知信道值(例如,信道估计)确定估计值 $\hat{\rho}$ 。如果值 $\hat{\rho}$ 估计准确,则补偿将完全抵消来自镜像副载波的泄漏。

[0014] 准确地估计值 ρ 要求有关信道及估计中使用的每个频率对传送的符号的知识。例如能够从信道估计器获得信道信息。一般通过使用导频符号获得有关传送的符号的知识。因此,为能够执行值 ρ 的准确估计,导频需要分布在估计中使用的每个频率对的两个副载波上。

[0015] 然而,通常在要应用的标准中定义导频符号分布。因此,对频率对上导频信息的访问取决于在标准中如何定义导频分布。例如,在 UMTS LTE 中,导频不放置在镜像频率对上。这在估计值 ρ 和执行 IQ 不平衡补偿时是一个严重的障碍,并且限制了直接使用此方案的可能性。

[0016] 因此,需要用于估计收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡的改进方法和布置。

发明内容

[0017] 应强调的是,术语“包括”在本说明书中使用时用于表示所述特性、整体、步骤或组件的存在,而不排除存在或添加一个或多个其它特性、整体、步骤、组件或其组合。

[0018] 本发明的目的是减轻至少一些上述缺点,并提供用于估计收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡的改进方法和布置。

[0019] 根据本发明的第一方面,这通过一种估计收到的正交频分复用信号 (OFDM 信号) 的同相/正交不平衡 (IQ 不平衡) 的方法实现。方法适合在通信接收器中使用。方法包括将收到的 OFDM 信号变换到频域,其中,频域包括多个副载频,并且变换的收到的 OFDM 信号包括一个或多个副载频上的第一类型的符号和一个或多个其它副载频上的第二类型的符号,第一类型的符号是导频符号,并且第二类型的符号是不同于导频符号的符号。方法也包括确定至少一个副载频的估计信道值,其中,变换的收到的 OFDM 信号包括第一类型的符号。方法还包括基于至少一个所述第一类型的符号、至少一个所述第一类型的符号的副载频的确定的估计信道值及与至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的信息,估计 IQ 不平衡,其中,对应镜像副载频包括第二类型的符号。

[0020] 在一些实施例中,对应镜像副载频有关的信息可包括对应镜像副载频上传送的信息符号的估计和对应镜像副载频的估计信道值,以及方法还可包括确定传送的信息符号的估计和确定对应镜像副载频的估计信道值。

[0021] 在一些实施例中,确定传送的信息符号的估计的步骤可包括以下之一:将收到的符号除以估计信道值,做出有关传送的信息符号的判决,以及将收到的 OFDM 信号解码,并基于解码的 OFDM 信号重新生成传送的信息符号的估计。

[0022] 在一些实施例中,对应镜像副载频有关的信息可包括对应镜像副载频上收到的符号。

[0023] 确定估计信道值的步骤可包括确定信道估计,并且方法可还包括应用偏置补偿换算因子到 IQ 不平衡估计或信道估计。确定副载频的估计信道值的步骤可包括从估计中排除副载频的符号。

[0024] 在一些实施例中,估计 IQ 不平衡的步骤可包括基于第一类型的多个符号和基于对应镜像副载频估计 IQ 不平衡。在一些实施例中,估计 IQ 不平衡的步骤可包括基于多个 OFDM 符号估计 IQ 不平衡。在一些实施例中,估计 IQ 不平衡的步骤包括基于第一类型的可用符号的子集估计 IQ 不平衡。

[0025] 在一些实施例中,方法可还包括使用估计 IQ 不平衡执行收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡补偿。

[0026] 根据本发明的第二方面,提供了一种计算机程序产品,包括上面具有计算机程序的计算机可读介质,计算机程序包括程序指令。计算机程序可加载到数据处理单元中并适用于在计算机程序由数据处理单元运行时促使数据处理单元执行根据本发明的第一方面的方法步骤。

[0027] 本发明的第三方面是一种用于估计收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡的布置。布置包括快速傅立叶变换单元 (FFT 单元),该单元适用于将收到的 OFDM 信号变换到频域,其中,频域包括多个副载频,以及变换的收到的 OFDM 信号包括一个或多个副载频上的第一类型的符号和一个或多个其它副载频上的第二类型的符号,第一类型的符号是导频符号,并且第二类型的符号是不同于导频符号的符号。布置也包括信道估计电路,该电路适用于确定至少一个副载频的估计信道值,其中变换的收到的 OFDM 信号包括第一类型的符号。布置还包括 IQ 不平衡估计单元,该单元适用于基于至少一个所述第一类型的符号、至少一个所述第一类型的符号的副载频的确定的估计信道值及与至少一个所述第一类型的符号相关联的对应镜像副载频有关的信息来估计 IQ 不平衡,其中,对应镜像副载频包括第二类型的符号。

[0028] 在一些实施例中,信道估计电路可包括信道估计器,估计信道值可以是信道估计,并且 IQ 不平衡估计单元可还适用于将偏置补偿换算因子应用到 IQ 不平衡估计或信道估计。

[0029] 在一些实施例中,信道估计电路可包括在 IQ 不平衡估计单元中,并且可适用于通过从估计中排除副载频的符号来确定副载频的估计信道值。

[0030] 在一些实施例中,布置可还包括 IQ 不平衡补偿器,该补偿器适用于基于估计 IQ 不平衡执行收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡补偿。

[0031] 在一些实施例中,本发明的第三方面可附加地具有与如上为本发明的第一方面所解释的多种特性中的任一特性相同或对应的特性。

[0032] 本发明的第四方面是包括根据第三方面的布置的 OFDM 接收器。

[0033] 本发明的第五方面是包括根据第四方面的 OFDM 接收器的电子通信装置。在一些实施例中,电子通信装置可符合 UMTS LTE。

[0034] 本发明的实施例的优点之一是 IQ 不平衡的准确估计可能实现。

[0035] 本发明的实施例有关的另一优点是提供了精确的 IQ 不平衡补偿。

[0036] 本发明的实施例的又一优点是提供了对抗衰落方面健壮的 IQ 不平衡的估计。

[0037] 本发明的实施例的又一优点是提供了 IQ 不平衡的低复杂度估计。

附图说明

[0038] 从下面参照附图对本发明的实施例的详细描述中,可明白本发明的其它目的、特性和优点,其中:

[0039] 图 1 是通过无线电链路连接到基站站点的移动终端的示意前视图,其中,移动终端可包括根据本发明的一些实施例的布置;

[0040] 图 2 是示出在 OFDM 信号中导频符号位置的示例的图形;

[0041] 图 3 是示出根据本发明的一些实施例的示例方法步骤的流程图;

[0042] 图 4A 是示出根据本发明的一些实施例的部分示例布置的框图;

[0043] 图 4B 是示出根据本发明的一些实施例的部分示例布置的框图;

[0044] 图 5 是示出根据本发明的一些实施例的优点的曲线图;以及

[0045] 图 6 是示出根据本发明的一些实施例的优点的曲线图。

具体实施方式

[0046] 在下述内容中,将描述本发明的示例实施例,其中,基于导频符号、信道值及在一些实施例中基于传送的符号的估计,估计收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡。

[0047] 在一些实施例中,基于一个或多个频率对估计 IQ 不平衡,其中,导频符号只在频率对的一个副载波上可用。在此类实施例中,可在估计中使用频率对的另一(镜像)副载波有关的信息。在一些实施例中,镜像副载波有关的信息可以在频率对的镜像副载波上传送的符号的估计。在一些实施例中,镜像副载波有关的信息可以是频率对的镜像副载波的收到的符号。

[0048] 传送的符号的估计可以各种方式实现。例如,估计可不显式计算得出,而是隐含在 IQ 不平衡估计中。在一些实施例中,估计是收到的符号除以信道估计和软符号估计结果。估计可根据以下等式计算得出

$$[0049] \quad \hat{S}(N-k) = \frac{Y_{IQ}(N-k) - \tilde{\rho}(\hat{H}(k)P(k))^*}{\hat{H}(N-k)}, \quad (2)$$

[0050] 其中, $P(k)$ 表示副载波 k 上的已知导频符号值,并且 $\hat{H}(k)$ 和 $\hat{H}(N-k)$ 分别表示副载波 k 和镜像副载波 $N-k$ 上信道值的估计。旧的 ρ 估计例如可用作 $\tilde{\rho}$ 。如果 $\tilde{\rho}$ 设为零,则产生特殊的情况 $\hat{S}(N-k) = Y_{IQ}(N-k) / \hat{H}(N-k)$ 。在一些实施例中,做出有关传送的符号的硬判决,并且将其用作估计。在一些实施例中,对收到的信号解码,并且重新生成对应的信号并将其用于提供传送的符号的估计。

[0051] 估计的 IQ 不平衡在一些实施例中可以用于执行收到的 OFDM 信号的 IQ 不平衡补偿。

[0052] 在一些实施例中,估计 IQ 不平衡可包括使用 UMTS LTE 的同步信道 (SCH)。SCH 能用于小区搜索和初始时间与频率同步。

[0053] 值得注意的是, SCH 具有对称放置的导频, 即导频放置在镜像副载波上。这提供的优点是可仅仅基于导频符号和信道值来估计 IQ 不平衡, 并且不必使用传送的符号的估计。

[0054] SCH 只占用 DC(直流电、基带信号的中心频率) 周围的 1.25MHz 的频带。使用 SCH 进行 IQ 不平衡估计有关的一个缺点因此是不可能进行靠近基带信号的边缘频率的 IQ 不平衡的估计。这可能是一个重要缺陷, 例如, 在 IQ 不平衡与频率相关时。

[0055] 根据本发明的实施例, 由值 ρ 表示的 IQ 不平衡可估计为

$$[0056] \quad \hat{\rho} = \frac{\sum_k H(N-k)P(N-k)(Y_{IQ}(k) - H(k)P(k))}{\sum_k |P(N-k)|^2 |H(N-k)|^2}, \quad (3)$$

[0057] 其中, $P(k)$ 和 $P(N-k)$ 表示频率对的已知导频值, 并且 $H(k)$ 和 $H(N-k)$ 表示已知信道值。

[0058] 通常, 信道值是未知的, 并且必须替代为估计 $\hat{H}(k)$ 和 $\hat{H}(N-k)$ 。

[0059] 在导频符号只在一对子载波的一个副载波上可用的实施例中, 可在估计中使用该对的镜像副载波上传送的符号的估计而不是导频符号。例如, 如果在副载波 $N-k$ 上无导频可用, 则 $P(N-k)$ 可替代为传送的符号的估计 $\hat{S}(N-k)$, 并且 IQ 不平衡估计将表示为

$$[0060] \quad \hat{\rho} = \frac{\sum_k \hat{H}(N-k)\hat{S}(N-k)(Y_{IQ}(k) - \hat{H}(k)P(k))}{\sum_k |\hat{S}(N-k)|^2 |\hat{H}(N-k)|^2}. \quad (4)$$

[0061] 进行相反的替代是可能的, 即将 $P(k)$ 替代为传送的符号的估计 $\hat{S}(k)$ 。

$$[0062] \quad \hat{\rho} = \frac{\sum_k \hat{H}(N-k)P(N-k)(Y_{IQ}(k) - \hat{H}(k)\hat{S}(k))}{\sum_k |P(N-k)|^2 |\hat{H}(N-k)|^2}. \quad (5)$$

[0063] 然而, 在此类实施例中, 使用通过将收到的符号除以信道估计而实现的传送的符号的估计可能是一个低劣的解决方案。(这是因为如果在等式 (5) 中将 $\hat{S}(k)$ 替代为 $Y_{IQ}(k)/\hat{H}(k)$, 表达式变为 0。) 但可以采用使用传送的符号的任何其它估计。备选, $\hat{S}(k)$ 在 (5) 中可设为 0, 并且 IQ 不平衡估计将从以下等式得出

$$[0064] \quad \hat{\rho} = \frac{\sum_k \hat{H}(N-k)P(N-k)Y_{IQ}(k)}{\sum_k |P(N-k)|^2 |\hat{H}(N-k)|^2}, \quad (6)$$

[0065] 由此, 依赖数据信号 $S(k)$ 的零平均值。然而, 此 IQ 不平衡估计将更不准确, 这是因为数据信号 $S(k)$ 未建模, 因此影响作为噪声的 IQ 不平衡估计。也要注意的, 由于依赖数据信号的零平均值的原因, 此 IQ 不平衡估计随着测量时间而得以改进。

[0066] 使用等式 (4)、(5) 还是 (6) 也可取决于镜像频率上信息数据符号的存在与否。如果在一些频率块上无信息数据发送, 则这些频率称为静寂频率。然而, 即使未传送信息数据, 导频仍可存在 (取决于使用的通信标准)。例如, 如果 $N-k$ 属于静寂频率的范围, 则等式 (5) 或 (6) 可以是优选的, 而如果 k 属于静寂频率的范围, 则等式 (4) 可以是优选的。

[0067] 在本发明的一些实施例中, 估计值 $\hat{\rho}$ 能用于补偿时域信号或频域信号。如果在频域信号上执行, 则补偿可包括

$$[0068] \quad Y_{comp}(k) = Y_{IQ}(k) - \hat{\rho} Y_{IQ}^*(N-k). \quad (7)$$

[0069] 如果 $\hat{\rho}$ 估计准确, 则此操作将抵消来自镜像副载波 $N-k$ 的泄漏。

[0070] 在一些实施例中, 可使用 MMSE (最小均方差) 因子 $\hat{\rho}_{MMSE} = \beta \cdot \hat{\rho}$, 其中, 例如 $\beta = |\hat{\rho}|^2 / (|\hat{\rho}|^2 + \sigma_{\hat{\rho}}^2)$ 。不平衡估计 $\hat{\rho}$ 的方差表示为 $\sigma_{\hat{\rho}}^2$, 并且取决于例如使用的估计方法、估计时间和滤波参数。因此, 在这些实施例中, 补偿可根据以下等式执行:

$$[0071] \quad Y_{MMSEcomp}(k) = Y_{IQ}(k) - \hat{\rho}_{MMSE} \cdot Y_{IQ}^*(N-k). \quad (8)$$

[0072] 如果估计的 IQ 不平衡小, 则因子 β 可赋予补偿更低的权重。在例如 $\hat{\rho}$ 受到暂时大的估计噪声影响时, 可应用此方案以避免良好的情况变得更坏。

[0073] 补偿可如上所述是 FFT 之前或 FFT 之后。此外, 它可在反馈回路中或不在其中执行。

[0074] 如果要在反馈回路中执行补偿, 则以前的 IQ 不平衡估计 ρ_0 可与新的 IQ 不平衡估计 $\Delta \rho$ 组合以改进结果。这是由于基于已经补偿的信号 (通过以前估计进行补偿) 对 IQ 不平衡进行估计的原因, 并且新的 IQ 不平衡估计表示残余 IQ 不平衡的估计。在一些实施例中, 新的 IQ 不平衡估计和以前的 IQ 不平衡估计的组合可执行为 $\hat{\rho} = (\rho_0 + \Delta \rho \cdot \alpha) / (1 + \Delta \rho \cdot \rho_0 \cdot \alpha)$, 并在等式 (7) 或 (8) 中使用 (在等式 (8) 中使用, $\hat{\rho}$ 替代为 $\hat{\rho}_{MMSE}$)。因子 α ($0 < \alpha \leq 1$) 指定平滑处理不平衡估计的第一阶滤波器。

[0075] 因此, 根据本发明的一些实施例, 在频率对的一个副载波上导频值用于 IQ 不平衡估计。在镜像副载波上, IQ 不平衡计算中的导频值可替代 (显式或隐式) 为传送的信息符号的估计。

[0076] 在一些实施例中, 此估计可通过将收到的信号除以信道估计而生成, 即 $\hat{S}(N-k) = Y_{IQ}(N-k) / \hat{H}(N-k)$ 。根据本发明的一些实施例, 可选择如此使用的信道估计以致于它取决于多于一个导频符号。如果使用传送的信息符号的此估计, 则可将等式 (4) 的 IQ 不平衡估计表示为

$$[0077] \quad \hat{\rho} = \frac{\sum_k Y_{IQ}(N-k)(Y_{IQ}(k) - \hat{H}(k)P(k))}{\sum_k |Y_{IQ}(N-k)|^2}. \quad (9)$$

[0078] 因此, 无需计算传送的信息符号的实际估计, 而是隐含在等式 (9) 的 IQ 不平衡估计中。

[0079] 在一些实施例中, 传送的信息符号的估计可通过判决引导方案生成。在这些实施例中, 做出有关传送的符号的判决 $\hat{S}(N-k)$ 。在这些实施例的一些实施例中, 基于 $Y_{IQ}(N-k) / \hat{H}(N-k)$ 做出判决。

[0080] 在仍有一些实施例中, 收到的信号被解码, 并且传送的信息符号的估计 $\hat{S}(N-k)$ 可通过从解码信号重新生成对应假定发送的信号而生成。

[0081] 根据本发明的一些实施例, 可从 OFDM 接收器的信道估计器检索估计信道值, $\hat{H}(k)$ 和 $\hat{H}(N-k)$ 。在其它实施例中, 可在 IQ 不平衡估计器中单独生成 $\hat{H}(k)$ 和 $\hat{H}(N-k)$ 。在此类实施例中, 可使用在信道估计器中使用的不同算法生成 $\hat{H}(k)$ 和 $\hat{H}(N-k)$ 。在本发明的一些实施例中, 可从比仅 $P(k)$ 更多的导频生成信道估计 $\hat{H}(k)$ 。例如, 信道估计可计算为

$$[0082] \quad \hat{H}(k) = \frac{1}{3} \frac{Y(k) + Y(k_{-1}) + Y(k_1)}{P(k) + P(k_{-1}) + P(k_1)}, \quad (10)$$

[0083] 其中, k_{-1} 和 k_1 对应于相邻导频符号 (在频率上或在时间上) 的位置。

[0084] 在本发明的一些实施例中, 在等式 (3)、(4) 和 (9) 的求和中使用的频率对的样本取自不同 OFDM 符号。因此, 可能基于覆盖相当长时间的频率对估计 IQ 不平衡。这具有的优点是估计对于防止衰落变化变得更健壮。

[0085] 等式 (4)、(5)、(6) 和 (9) 的求和中使用的频率对越多, IQ 不平衡估计变得越复杂。为降低复杂性, 根据本发明的一些实施例, 能够使用较少数量的样本。因此, 在一个 OFDM 符号中 (或在多个 OFDM 符号中), 可用导频符号中, 仅一个子集可用于 IQ 不平衡估计。在这些实施例中, 例如可根据在可用时间和频率范围内伪随机模式选择要在 IQ 不平衡估计中使用的导频符号 (及因此的频率对)。

[0086] 图 1 示出通过无线电链路 120 连接到基站站点 130 的示例移动终端 110。基站站点 130 包括一根或多根天线 135 和至少一个基站 150。根据本发明的实施例, 移动终端 110 可包括用于估计 IQ 不平衡的布置。

[0087] 移动终端 110 在示意前视图中示为移动电话。此示例移动终端 110 包括安装在设备的外壳上的天线 111。备选, 移动终端 110 可具有安装在设备的外壳内的内置天线。移动终端 110 甚至可包括多根天线。移动终端 110 可还包括显示器、键盘、扬声器和麦克风, 它们一起提供用于操作移动终端 110 的人机接口。

[0088] 示例移动终端 110 适用于经由到无线电基站 150 的无线链路 120 连接到移动通信网络。因此, 移动终端 110 的用户可使用常规电路交换电信服务, 如话音呼叫、数据呼叫、视频呼叫及传真传输, 和 / 或基于分组的服务, 如电子消息传递、VoIP、因特网浏览、电子商务等。为此, 移动终端 110 和基站 150 可符合采用 OFDM 的至少一个移动通信标准, 例如, UMTS LTE、IEEE 802.11a、IEEE 802.11g 和 / 或 WiMAX (IEEE 802.16)。备选或附加地, 移动终端 110 可适用于连接到数字广播系统和根据诸如 DVB-T、DBV-H、T-DMB 和 / 或 DAB 等采用 OFDM 的数字广播的至少一个标准接收信号。

[0089] 图 2 示出在 OFDM 系统中传送的信号的时间频率网格 200 内导频符号 210a-h 的示例分布。本发明的实施例可用于估计信号的 IQ 不平衡, 如在此图中所示的一个信号。在图 2 中, 示出了在发送器中 IFFT 处理前的示例 OFDM 信号。在 FFT 处理后, 在接收器中将发现对应的时间频率网格。

[0090] 在图 2 中, 可注意到的是, 在 OFDM 符号 201 中传送导频符号 210a 和 210b, 在 OFDM 符号 205 中传送导频符号 210c 和 210d, 以及这些中间 OFDM 符号不包括任何导频符号。此外, 可注意到的是, 与导频符号 210c 和 210d 相比, 导频符号 210a 和 210b 在不同的副载波上传送。也可注意到的是, 在此示例时间频率网格 200 中, 在镜像副载波上没有导频符号。例如, 在作为导频符号 210b 的镜像副载波的副载波 220b 上没有导频符号。

[0091] 在诸如图 2 所示的一个信号等信号上执行信道估计时, 可使用任何熟知的信道估计方法, 首先估计有导频符号可用的位置的信道。之后, 也可在时间频率网格中的其它位置估计信道。执行此估计的一种方式借助于在频率上和 / 或在时间上的内插。

[0092] 图 3 示出根据本发明的一些实施例的示例方法 300。在步骤 310 中, 通过在 OFDM 接收器中应用 FFT, 将收到的基带 OFDM 信号变换到频域。

- [0093] 在步骤 320 中,估计一个或多个信道值。可基于一个或多个导频符号估计信道值。
- [0094] 估计信道值可由信道估计器生成,并且可包括如步骤 321 所示的常规信道估计。如果等式 (4) 或 (9) 要用于 IQ 不平衡估计,并且如果信道估计将计算为 $\hat{H}(k) = Y_{IQ}(k)/P(k)$, 则 IQ 不平衡估计的结果将为 0。为避免此情况,如果要使用等式 (4) 或 (9), 则信道估计可基于多个副载波 (在时间上和 / 或在频率上)。
- [0095] 如步骤 323 所示,估计信道值可备选专门为 IQ 不平衡估计生成。在这些实施例中,可从信道值估计中排除在估计的副载波的收到的符号,由此不必进行偏置补偿。
- [0096] 在步骤 330 中,可为导频符号的至少一个镜像频率确定传送的符号的估计。传送的符号可如上所述以各种方式估计。在一些实施例中 (参见例如等式 (9)), 传送的符号的估计实际上未计算得出,而是隐含在 IQ 不平衡估计中。因此,步骤 330 示为可选步骤。
- [0097] 在步骤 340 中,估计 IQ 不平衡。至少基于一个或多个频率对的导频符号、对应的估计信道值和导频符号的镜像频率有关的信息,估计 IQ 不平衡,其中,至少一个镜像频率不包括导频符号。在一些实施例中,镜像频率有关的信息是估计的传送的符号和对应的估计信道值 (例如参见等式 (4))。在一些实施例中,镜像频率有关的信息是收到的符号 (例如参见等式 (6) 和 (9))。在估计中可使用一个或多个频率对。频率对可从单个 OFDM 符号或从多个 OFDM 符号中挑选。此外,频率对可包括在时间频率间隔中的所有可用频率对 (对应于所有可用导频符号),或者它们可只包括在时间频率间隔中的一些可用频率对。
- [0098] 如果估计信道值如步骤 321 所示由信道估计器生成,并且信道估计是基于多个副载波,则也可应用如可选步骤 341 所示的偏置补偿。例如,如果信道估计是基于来自三个副载波的符号,则仅未对应于副载波 k 的两个符号实际上将对 IQ 不平衡估计做贡献。在此特定情况下,贡献将 (在平均上) 是实值的 2/3,并且因此 3/2 的偏置补偿可应用到 IQ 不平衡估计。然而,如果 IQ 不平衡补偿在反馈回路中实现,则偏置将随每次迭代自动降低,并且偏置补偿可以不必进行。
- [0099] 最后,在步骤 350 中, IQ 不平衡估计用于在时域中或在频域中补偿收到信号的 IQ 不平衡。
- [0100] 图 4A 示出根据本发明的一些实施例的部分示例布置 400。布置例如可执行如图 3 所述示例方法 300 的方法步骤。布置 400 可执行根据本发明的实施例的 IQ 不平衡估计和补偿,并且可包括在电子通信装置的 OFDM 接收器中。
- [0101] 布置 400 包括 FFT 单元 410。FFT 单元 410 将 FFT 应用到收到的 OFDM 信号以将它变换到频域。在馈送到 FFT 单元 410 前,收到的 OFDM 信号一般可通过一根或多根天线接收,并且已在接收器前端中进行滤波、下变频等。
- [0102] 布置 400 还包括 IQ 补偿单元 (IQ-comp.) 420。在此实施例中, IQ 补偿单元 420 基于 IQ 不平衡估计,在变换的收到的 OFDM 信号上 (即,在 FFT 410 后) 执行补偿。在其它实施例中, IQ 补偿单元 420 可位于 FFT 410 之前。从 IQ 不平衡估计单元 (IQ-est.) 440 经由延迟元件 450 接收 IQ 不平衡估计。
- [0103] 布置可还包括信道估计器 (Ch. est.) 430 和均衡器 (Eq.) 460。在均衡后,收到的 OFDM 信号可转发到判决单元 (DU) 470 和 / 或解码器 (Dec.) 480。
- [0104] 如前面所述, IQ 估计单元 440 可适用于基于导频符号、(隐式或显式) 估计的传送的符号和估计信道值,估计 IQ 不平衡。估计信道值可从信道估计器 430 接收,或者它们可

在 IQ 不平衡估计单元 440 中包括的信道值计算单元 445 中计算得出。如果传送的符号未隐含在 IQ 不平衡估计（与等式 (9) 比较）中，则传送的符号可由 IQ 不平衡估计单元 440 内的电路 443 估计。备选，传送的符号可由判决单元 470 估计并馈送到 IQ 不平衡估计单元 440。仍然备选的是，可通过基于解码器 480 的输出在重新生成电路 (Re-gen.) 490 中重新生成假定传送的信号，并将结果馈送到 IQ 不平衡估计单元 440，估计传送的符号。

[0105] 图 4A 示出在反馈回路中 FFT 后执行补偿的情况。因此，IQ 不平衡估计是如前面所述的残余 IQ 不平衡的估计 $\Delta \rho$ ，并且能够与以前的 IQ 不平衡估计 ρ_0 组合以改进结果。

[0106] 在一个备选实施例中，补偿在反馈回路中 FFT 之前执行，并且在接收器链中方框 420 被放置在方框 410 之前。

[0107] 图 4B 示出根据本发明的一些实施例的部分示例布置 400'。布置例如可执行如图 3 所述示例方法 300 的方法步骤。布置 400' 可执行根据本发明的实施例的 IQ 不平衡估计和补偿，并且可包括在电子通信装置的 OFDM 接收器中。

[0108] 布置 400' 包括 FFT 单元 410'。FFT 单元 410' 将 FFT 应用到收到的 OFDM 信号以将它变换到频域。在馈送到 FFT 单元 410' 前，收到的 OFDM 信号一般可通过一根或多根天线接收，并且已在接收器前端中进行滤波、下变频等。

[0109] 布置 400' 还包括 IQ 补偿单元 (IQ-comp.) 420'。在此实施例中，IQ 补偿单元 420' 基于 IQ 不平衡估计，在变换的收到的 OFDM 信号上执行补偿。从 IQ 不平衡估计单元 (IQ-est.) 440' 接收 IQ 不平衡估计。

[0110] 布置可还包括信道估计器 (Ch. est.) 430' 和均衡器 (Eq.) 460'。在均衡后，收到的 OFDM 信号可转发到判决单元 (DU) 470' 和 / 或解码器 (Dec.) 480'。

[0111] 如前面所述，IQ 估计单元 440' 可适用于基于导频符号、(隐式或显式) 估计的传送的符号和估计信道值而估计 IQ 不平衡。估计信道值可从信道估计器 430' 接收，或者它们可在 IQ 不平衡估计单元 440' 中包括的信道值计算单元 445' 中计算得出。如果传送的符号未隐含在 IQ 不平衡估计（与等式 (9) 比较）中，则传送的符号可由 IQ 不平衡估计单元 440' 内的电路 443' 估计。备选，传送的符号可由判决单元 470' 估计并馈送到 IQ 不平衡估计单元 440'。仍然备选的是，可通过基于解码器 480' 的输出在重新生成电路 (Re-gen.) 490' 中重新生成假定传送的信号，并将结果馈送到 IQ 不平衡估计单元 440'，估计传送的符号。

[0112] 图 4B 示出在 FFT 后而不在反馈回路中执行补偿的情况。

[0113] 图 5 和 6 示出不同 IQ 不平衡估计技术的性能。在图 5 中，IQ 不平衡估计的均方根 (RMS) 误差示为 SNR 的函数。在模拟中，为整个 OFDM 频带的所有副载波进行了单一平坦估计 (single flat estimation) (即，已假设 IQ 不平衡不是频率相关的)。在模拟中，使用了带有 1200 个副载波，每个 15kHz 的 18MHz 的 OFDM 频带。

[0114] 虚线 510 示出不平衡等级，即，对应于无任何 IQ 不平衡估计和补偿的性能。曲线 520 示出基于 SCH 的 IQ 不平衡估计的性能。曲线 530 示出根据本发明的一些实施例，基于在频率对的一个副载波上的导频而不是镜像副载波上估计的传送的符号（与等式 (6) 比较）的 IQ 不平衡估计的性能。曲线 540 示出根据本发明的一些实施例的 IQ 不平衡估计的性能，其中，IQ 不平衡估计是基于在频率对的一个副载波上的导频和镜像副载波上（隐式）估计的传送的符号（与等式 (9) 比较）。

[0115] 能够看到的是,根据本发明的实施例,后一 IQ 不平衡估计 540 性能比前两者 520 和 530 要好得多。

[0116] 图 6 也示出作为 SNR 的函数的 IQ 不平衡估计的均方根 (RMS) 误差。在这些模拟中,在估计过程中顾及了频率相关性。因此,在此示例中,18MHz OFDM 频带已分成每个 900kHz 的多个频率段。随后,已为每个频率段单独估计 IQ 不平衡。

[0117] 虚线 610 示出不平衡等级,即,对应于无任何 IQ 不平衡估计和补偿的性能。在此情况下,使 IQ 不平衡估计基于 SCH 不是一种选择,这是因为如上所述, IQ 不平衡是频率相关的,并且 SCH 未存在于整个频带内。曲线 630 示出根据本发明的一些实施例,基于在频率对的一个副载波上的导频而不基于镜像副载波上估计的传送的符号 (与等式 (6) 比较) 的 IQ 不平衡估计的性能。曲线 640 示出根据本发明的一些实施例的 IQ 不平衡估计的性能,其中, IQ 不平衡估计是基于在频率对的一个副载波上的导频和镜像副载波上 (隐式) 估计的传送的符号 (与等式 (9) 比较)。

[0118] 此外,能够看到的是,根据本发明的实施例,后一 IQ 不平衡估计 640 性能比前者 630 要好得多。但应注意的是,如果在较长时间间隔内进行估计,由此降低均方根 (rms) 值,则使用等式 (6) 也可能产生良好的性能。然而,此类结果未在图 5 和 6 中示出。

[0119] 本发明的所述实施例及其等效物可在硬件或软件中或硬件和软件的组合中执行。

[0120] 本发明的实施例可由诸如数字信号处理器 (DSP)、中央处理单元 (CPU)、协处理器单元等与接收器相关联或作为接收器组成部分的通用电路执行,或者由诸如专用集成电路 (ASIC) 等专用电路执行。所有此类形式均预期在本发明的范围内。

[0121] 本发明的实施例可在包括具有布置的接收器链或执行根据本发明的任何实施例的方法的电子设备内实现。电子设备例如可以是便携式或手持式移动无线电通信设备、移动无线电终端、移动电话、寻呼机、通信器 (communicator)、电子记事本 (electronic organizer)、智能电话、计算机、嵌入式驱动器、移动游戏装置或 (腕) 表。备选,电子设备可以是通信系统中的基站。

[0122] 根据本发明的一些实施例,计算机程序产品包括诸如盘或 CD-ROM 等计算机可读介质。计算机可读介质可在上面存储有包括程序指令的计算机程序。计算机程序可以可加载到数据处理单元中,数据处理单元例如可包括在移动终端 110 中。在加载到数据处理单元中时,计算机程序可存储在与数据处理单元相关联或是其组成部分的存储器中。根据一些实施例,计算机程序在加载到数据处理单元中并由其运行时可促使数据处理单元执行根据例如图 3 所示方法的方法步骤。

[0123] 本发明已在本文中参照各种实施例描述。然而,本领域的技术人员将认识到所述实施例的许多变化,这些变化将仍在本发明的范围内。例如,本文中所述的方法实施例描述通过以某个顺序执行的方法步骤的示例方法。然而,可认识到,事件的这些序列可以另一顺序发生而不脱离本发明的范围。此外,一些方法步骤即使已描述为按顺序执行,但它们也可并行执行。

[0124] 同样地,应注意到,在本发明的实施例的描述中,将功能块划分成特定单元并无意于限制本发明。相反,这些划分只是示例。在本文中描述为一个单元的功能块可划分成两个或更多个单元。同样地,在本文中描述为作为两个或更多个单元实现的功能块可作为单个单元实现而不脱离本发明的范围。

[0125] 因此,应理解的是,所述实施例的限制只是为了说明而并无意于限制。相反,本发明的范围由随附权利要求而不是由说明书定义,并且在权利要求范围内的所有变化旨在包含于其中。

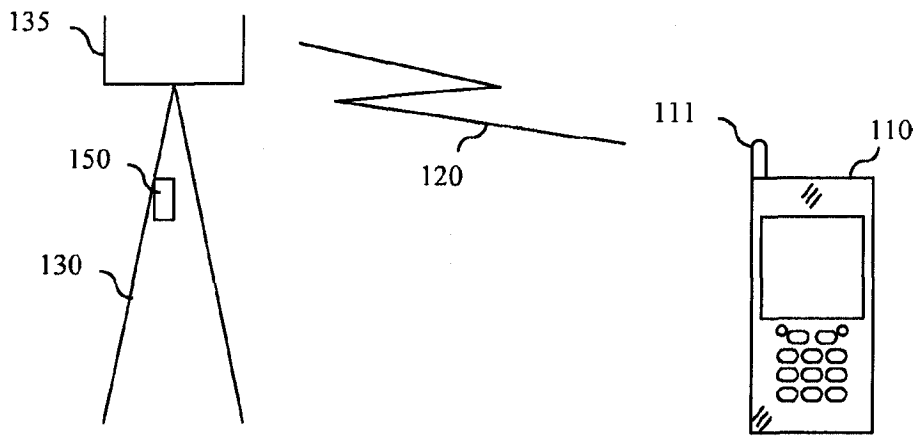


图 1

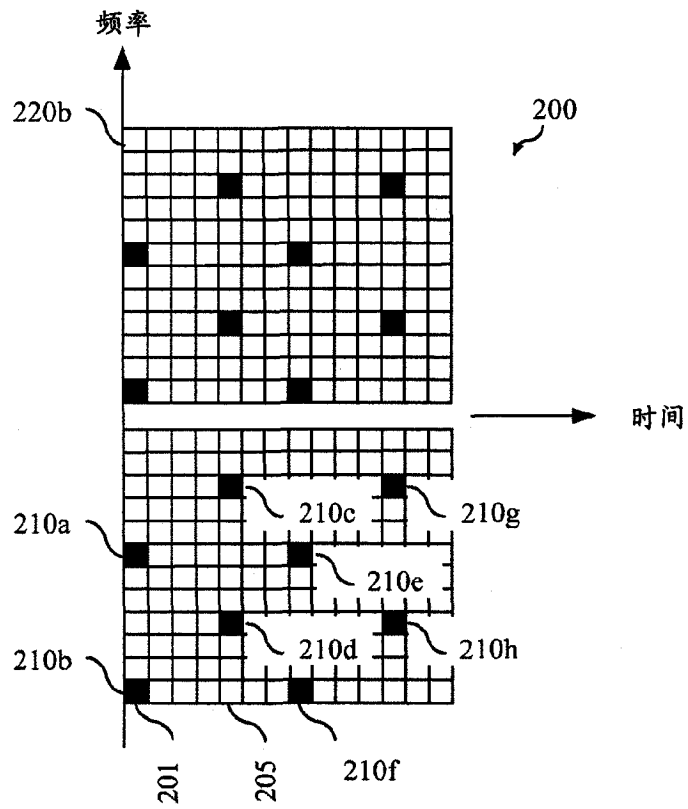


图 2

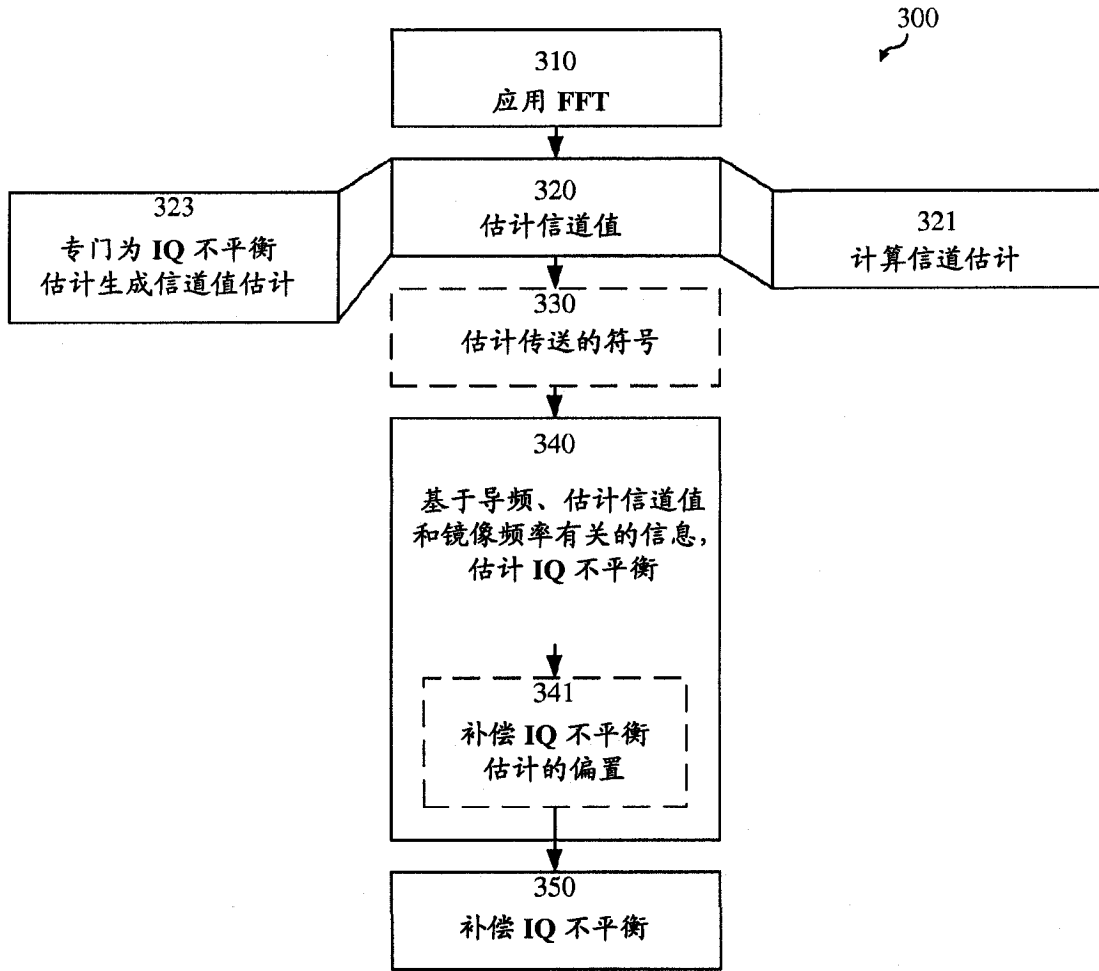


图 3

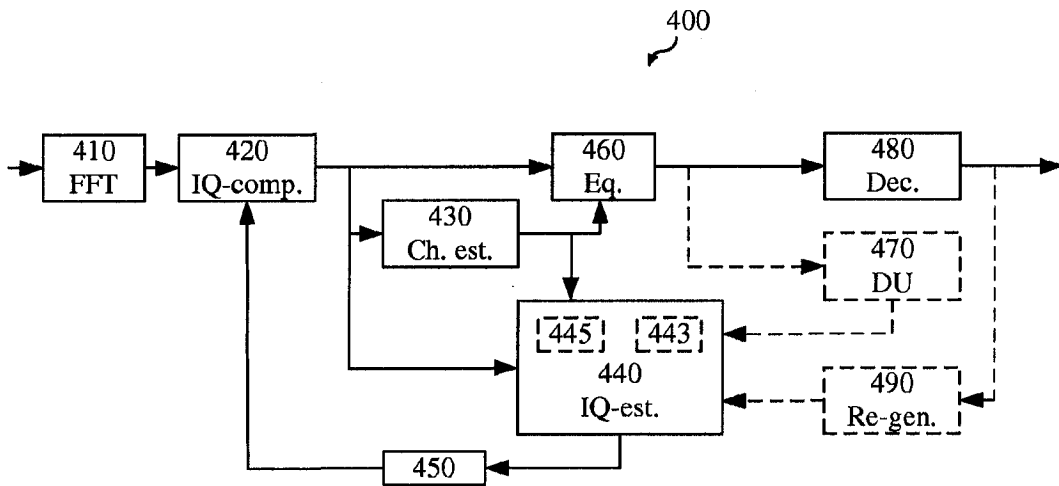


图 4A

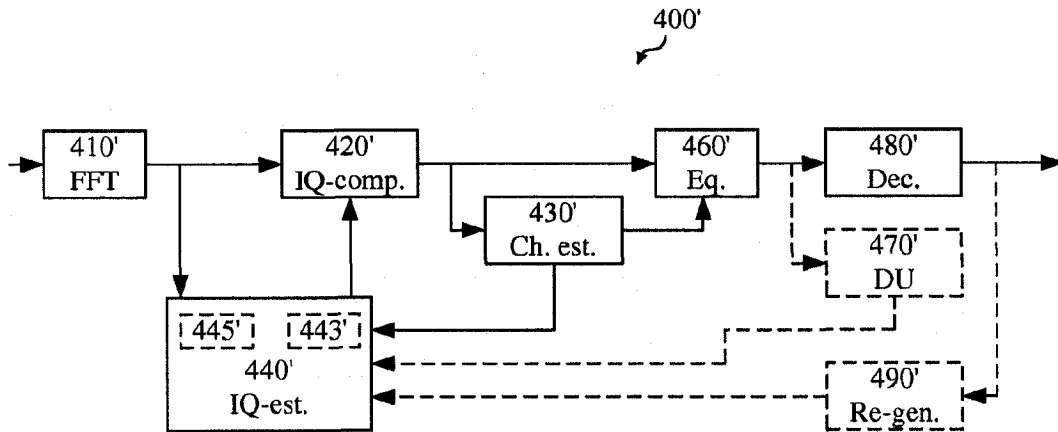


图 4B

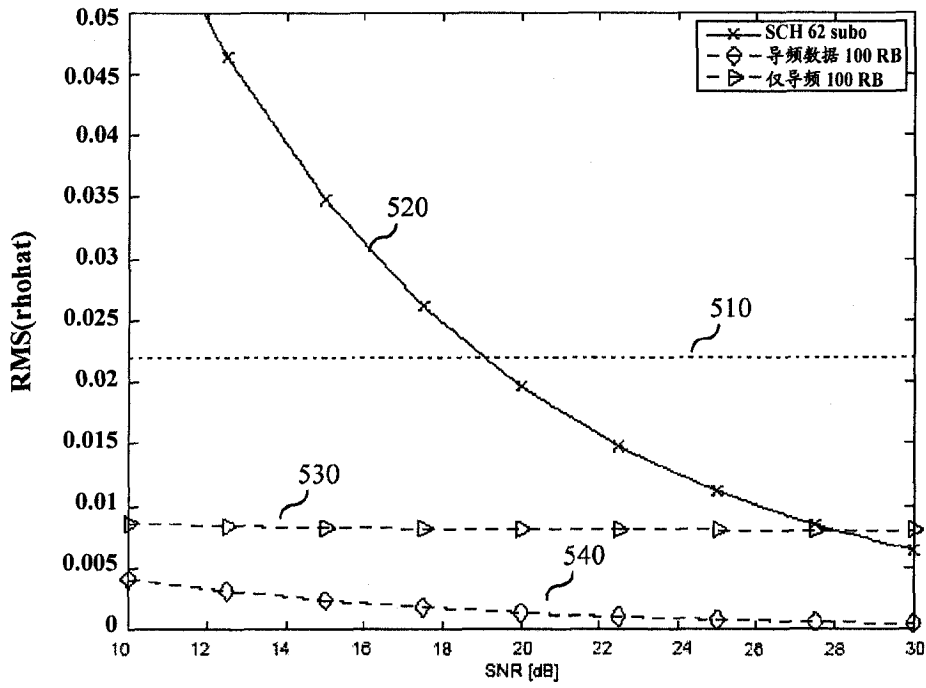


图 5

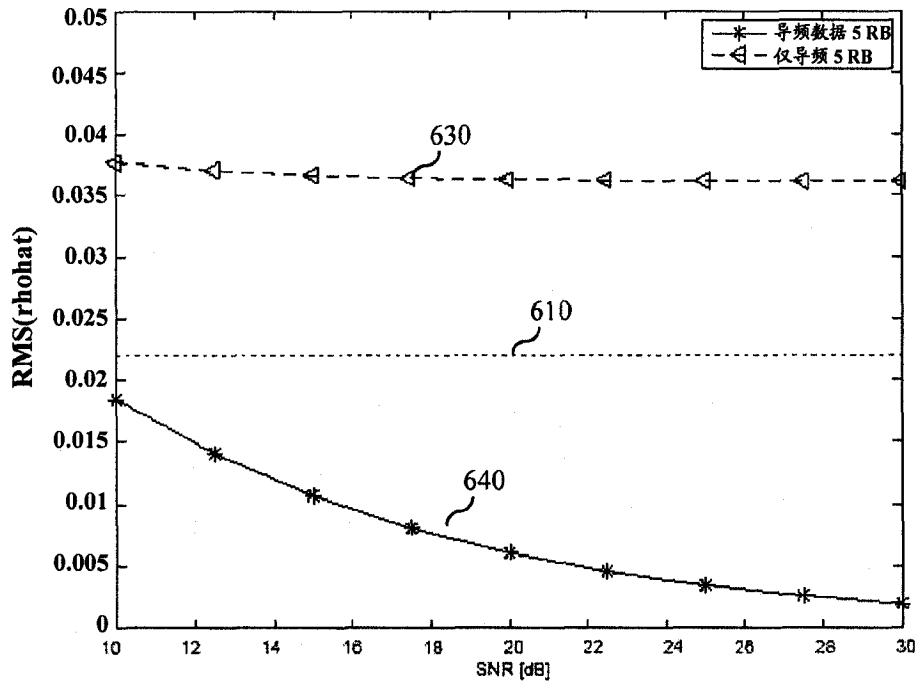


图 6