



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105027520 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 04

(21) 申请号 201380070680. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 01. 16

H04L 27/26(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2015. 07. 16

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2013/070536 2013. 01. 16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02014/110730 EN 2014. 07. 24

(71) 申请人 爱立信(中国)通信有限公司
地址 100102 北京市朝阳区利泽东街 5 号

(72) 发明人 夏斌 魏旻

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 穆童

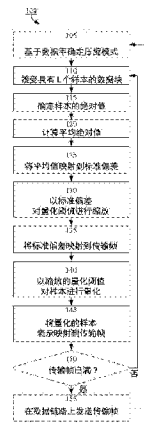
权利要求书3页 说明书20页 附图8页

(54) 发明名称

针对无线电基站的复值 OFDM 数据压缩和解压缩

(57) 摘要

公开了压缩方法,所述压缩方法包括接收包括多个复值数据样本的 OFDM 数据块,其中每个同相和正交样本值由第一数量的比特表示。所述方法还包括计算 OFDM 数据块的绝对样本值的平均值,并且将所述绝对样本值映射到标准偏差值。所述方法还包括使用以标准偏差值缩放的量化阈值对每个样本值进行量化,以产生量化的同相和正交样本值表示,每个量化的同相和正交样本值表示包括第二数量的比特;以及将标准偏差值和量化的样本值表示映射到 OFDM 传输帧。还公开了相应的解压缩方法、压缩器、解压缩器以及网络节点。



CN 105027520 A

1. 一种压缩方法,包括:

接收 (110) 包括多个复值数据样本的时域复值正交频分复用 OFDM 数据块,其中每个复值数据样本包括同相样本值和正交样本值,同相样本值和正交样本值中的每一个由第一数量 M 的比特表示;

针对每个复值数据样本,确定 (115) 同相样本值和正交样本值中的每一个的绝对样本值;

计算 (120) 时域复值 OFDM 数据块的绝对样本值的平均值以产生平均绝对样本值;

基于映射函数将平均绝对样本值映射 (125) 到与绝对样本值相关联的标准偏差值,所述映射函数将平均绝对样本值表示为第一函数减去第二函数,其中第一函数是比特的第一数量的函数,并且第二函数是 $2^{(M-1)}-1$ 项的和,其中每项包括标准偏差的函数;

针对每个复值数据样本,使用以标准偏差值缩放 (130) 的多个量化阈值对同相样本值和正交样本值中的每一个进行量化 (135),以产生量化的同相和正交样本值表示,量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特,其中第二数量的比特少于第一数量的比特;以及

将标准偏差值与量化的同相和正交样本值表示映射 (135,145) 到 OFDM 传输帧。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中,所述量化阈值基于同相和正交样本值与量化的同相和正交样本值表示之间的最小均方误差,其中,所述同相和正交样本值具有高斯分布,所述高斯分布具有所述标准偏差值和零均值。

3. 根据权利要求 1 到 2 中任一项权利要求所述的方法,其中,映射函数是:

$$\overline{|x|} = (2^{(M-1)} - 0.5) - \sum_{m=0}^{(2^{(M-1)}-2)} erf\left(\frac{m+1}{\sigma\sqrt{2}}\right),$$

其中, σ 表示所述标准偏差值, $\overline{|x|}$ 并且表示所述平均绝对样本值。

4. 根据权利要求 1 到 3 中任一项权利要求所述的方法,其中,将平均绝对样本值映射到标准偏差值包括:使用所述平均绝对样本值来寻址统计查找表,所述统计查找表实现所述映射函数。

5. 根据权利要求 1 到 4 中任一项权利要求所述的方法,其中,时域复值 OFDM 数据块包括在第一数据流中,所述第一数据流具有可变的第一数据率,OFDM 传输帧包括在第二数据流中,所述第二数据流具有固定的第二数据率,所述方法还包括:基于第一和第二数据率来选择 (105) 量化阈值的数量。

6. 一种解压缩方法,包括:

接收 (205) OFDM 传输帧,所述 OFDM 传输帧包括标准偏差值和多个量化的同相和正交样本值表示,所述量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特;

提取 (215) 标准偏差值;

提取 (215) 量化的样本值表示;

针对量化的同相和正交样本值表示中的每一个,将量化的同相或正交样本值表示映射 (230) 到以标准偏差值缩放 (220) 的重构级别以产生重构的同相或正交样本值,所述重构的同相或正交样本值由第三数量的比特来表示,其中第二数量的比特少于第三数量的比特;以及

将多个重构的同相和正交样本值组合 (235) 成重构的时域复值 OFDM 数据块。

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其中, 所接收的 OFDM 传输帧是根据权利要求 1 到 5 中任一项权利要求所述的 OFDM 传输帧。

8. 一种压缩器, 包括:

输入端口 (701), 适于接收时域复值 OFDM 数据块, 所述时域复值 OFDM 数据块包括多个复值数据样本, 其中每个复值数据样本包括同相样本值和正交样本值, 所述同相样本值和正交样本值中的每一个由第一数量 M 的比特来表示;

绝对值确定器 (702、1002i、1002q), 适于针对每个复值数据样本, 确定同相样本值和正交样本值中的每一个的绝对样本值;

平均值计算器 (703、903、1003、1102、1103), 适于计算所述时域复值 OFDM 数据块的绝对样本值的平均值, 以产生平均绝对样本值;

统计映射器 (704、904、1004、1104), 适于基于映射函数将平均绝对样本值映射到与绝对样本值相关联的标准偏差值, 所述映射函数将平均绝对样本值表示为第一函数减去第二函数, 其中第一函数是比特的第一数量的函数, 并且第二函数是 $2^{(M-1)}$ 项的和, 其中每项包括标准偏差值的函数;

量化器 (707、907、1007、1107), 适于针对每个复值数据样本, 使用以标准偏差值缩放的多个量化阈值对同相样本值和正交样本值中的每一个进行量化, 以产生量化的同相和正交样本值表示, 量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特, 其中第二数量的比特少于第一数量的比特; 以及

信号映射器 (708、911、908、1011i、1011q、1008、1160), 适于将标准偏差值和量化的同相和正交样本值表示映射到 OFDM 传输帧。

9. 根据权利要求 8 所述的压缩器, 其中, 所述统计映射器 (704、904、1004、1104) 包括实现映射函数的统计查找表 (704', 1104), 并且所述映射器适于使用所述平均绝对样本值来寻址所述统计查找表。

10. 根据权利要求 8 到 9 的任一项权利要求所述的压缩器, 其中, 所述时域复值 OFDM 数据块包括在第一数据流中, 所述第一数据流具有可变的所述第一数据率, 所述 OFDM 传输帧包括在第二数据流中, 所述第二数据流具有固定的第二数据率, 并且所述压缩器还包括选择器 (709、809、1009), 所述选择器适于基于所述第一和第二数据率来选择量化阈值的数量。

11. 根据权利要求 10 所述的压缩器, 还包括: 量化阈值缩放器 (705、907、1007、1105), 所述量化阈值缩放器适于以标准偏差值来对所述多个量化阈值进行缩放。

12. 根据权利要求 11 所述的压缩器, 其中, 所述量化阈值缩放器 (705、907、1007、1105) 包括量化查找表 (706、1006), 所述量化查找表针对每个所选的量化阈值数量来实现量化阈值。

13. 一种解压缩器, 包括:

接收器 (1202、1402、1502), 适于接收 OFDM 传输帧, 所述 OFDM 传输帧包括标准偏差值和多个量化的同相和正交样本值表示, 量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特;

标准偏差提取器 (1204、1404、1504), 适于提取所述标准偏差值;

样本提取器 (1206、1406、1506), 适于提取所述量化的同相和正交样本值表示;

重构器 (1208、1408、1508、1510), 适于针对量化的同相和正交样本值表示中的每一个, 将量化的同相或正交样本值表示映射到以标准偏差值缩放的重构级别, 以产生重构的同相或正交样本值, 所述重构的同相或正交样本值由第三数量的比特来表示, 其中第二数量的比特少于第三数量的比特; 以及

组合器 (1212、1411i、1411q、1501), 适于将多个重构的同相和正交样本值组合成重构的时域复值 OFDM 数据块。

14. 一种网络节点, 包括一个或多个根据权利要求 8 到 11 中任一项权利要求所述的压缩器和一个或多个根据权利要求 13 所述的解压缩器。

15. 根据权利要求 14 所述的网络节点, 其中, 所述一个或多个压缩器包括包括下行链路压缩器, 所述下行链路压缩器包括在所述网络节点的基带单元中, 并且所述一个或多个解压缩器包括下行链路解压缩器, 所述下行链路解压缩器包括在所述网络节点的无线电单元中。

16. 根据权利要求 14 到 15 中任一项权利要求所述的网络节点, 其中, 所述一个或多个压缩器包括上行链路压缩器, 所述上行链路压缩器包括在网络节点的无线电单元中, 并且所述一个或多个解压缩器包括上行链路解压缩器, 所述上行链路解压缩器包括在所述网络节点的基带单元中。

17. 根据权利要求 14 所述的网络节点, 其中, 所述 OFDM 传输帧是回程通信传输帧。

针对无线电基站的复值 OFDM 数据压缩和解压缩

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及数据的压缩和解压缩领域。更具体地,本发明涉及针对无线电基站的复值正交频分复用 (OFDM) 数据的压缩和解压缩。

背景技术

[0002] 在典型的无线电基站 (RBS) 中,数字化的和串行内部接口可以建立 RBS 的无线电设备控制 (REC) 与无线电设备 (RE) 之间的连接。这样的接口在针对通用公共无线电接口 (CPRI) 的规范中详述,可参见 <http://www.cpri.info/spec.html>。针对支持通用移动通信标准、长期演进 / 长期演进升级版 (UMTS LTE/LTE-A) 的 RBS 系统,复值时域 OFDM 信号典型地通过 CPRI 在 RBS 的远程无线电单元 (RRU) 与基带单元 (BBU) 之间传输。在 CPRI 的用户平面信息中,同相 (I) 和正交 (Q) 调制的数据 (即每个复值样本具有的 I 和 Q 分量的数字基带信号) 可以由 I/Q 数据来表示。

[0003] 随着对 RBS 的 RRU 与 BBU 之间最大数据速率 (以及 eNB 之间回程的数据速率) 的要求的提高 (例如在 OFDM 中由于增加的射频 (RF) 带宽、每个扇区的增加的载波数量、多天线技术 (例如多输入多输出 -MIMO)、协作多点 (CoMP)、RRU 的级联和多跳技术等等),在 CPRI 实现 (例如 CPRI 端口数量、光纤模块的速度和成本、以及串行化器 / 解串行化器单元 (SerDes) 的操作速度) 上提出了针对加快 CPRI 行比特率的越来越高的要求。

[0004] 典型的 CPRI 实现包括收发器模块,所述收发器模块是位于光学链路两端 (RRU 和 BBU) 的硬件单元。如上所述,提高的 BBU-RRU 连接性要求对光学收发器模块的速度和容量提出了挑战。为了满足针对内部 RBS 接口的聚合数据速率的这些提高的要求,可以增加 CPRI 行比特率和 / 或可以增加针对 RRU 和 BBU 连接分配的 CPRI 端口数量。另一种可能是,例如通过使用更少的比特表示每个样本来压缩将要在 CPRI 上传输的数据。

[0005] 因此,需要减少数据量的方法和装置,特别是用于在 CPRI 上传输的复值 OFDM 数据的数据量。各种技术可以减少 CPRI 接口上的负担,其中包括时域方案 (例如减小样本速率、通过截断来减小样本比特长度) 以及变换域方案 (例如频率域中的子载波压缩)。

[0006] 在其它技术领域数据速率也可以是限制因素,所述技术领域包括数据传输,例如,如卫星通信和遥感。与这样的技术领域有关,针对 I/Q 基带数据的一些压缩算法及其实现是已知的,并且可以大体上分为三种类型 (标量压缩、矢量压缩和变换域压缩)。标量压缩的示例可以在以下文献中找到:“Block floating point for radar data”by E. Christensen, IEEE transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 35, no. 1, January 1999, pp. 308-318, 以及 “Block Adaptive Quantization of Magellan SAR Data”by R. Kwok, W. Johnson, IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 27, no. 4, July 1989, pp. 375-383。

[0007] 针对定点和浮点均匀量化表示的信号与量化饱和噪声比在以下文献中分析地表达:“Block floating point for radar data”by E. Christensen, IEEE transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 35, no. 1, January 1999, pp. 308-318。

[0008] 块浮点量化 (BFPQ) 可以被认为是浮点表示的特殊情况,或者被认为是定点与浮点表示之间的权衡。

[0009] 在典型的量化方法中,L 个连续样本的块被分配有共享缩放因子,所述因子与块中样本中的最大幅度相对应,即

$$[0010] \quad [x_0, \dots, x_{L-1}] = [m_0, \dots, m_{L-1}] 2^{\text{EXP}}; m_l = x_l 2^{-\text{EXP}},$$

[0011]

$$\text{EXP} = 1 + S + \log_2 \left[\max_{l=0, \dots, L-1} |x_l| \right],$$

[0012] 其中,块的每个尾数的范围是在区间 $|m_l| \in [0; 2^S]$ 中, $l = 0, 1, \dots, L-1$, 整数 S 是用于防止溢出的缩放因子,以及 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示将标量值向下舍入为其最接近的整数的向下取整运算。

[0013] 在 BFPQ 中,样本的每个块分别量化为块浮点表示,并且共享块指数 EXP 针对每个块中所有的样本仅表示一次。如果尾数 $|m_l|$ 的幅度以 b_m 个比特表示并且块指数 EXP 以 b_{EXP} 个比特表示,那么平均而言每个缩放的样本由 $(1+b_m)+b_{\text{EXP}}/L$ 个比特表示。

[0014] 由于信号功率波动, b_m 和 b_{EXP} 对于每个块可以是不同的。因此,每个样本的平均比特长度从块到块变化,因而将波动引入到瞬时产生的数据速率中,这进而可以导致定时和帧同步的困难。多天线应用中的天线路径之间也可以存在数据率波动,这可能导致对天线之间的时间对齐的不利影响。

[0015] 用于降低 CPRI 要求的很多已知技术受到一种或多种缺点的不利影响,例如,如高复杂度、信令开销、实时实现困难、延迟问题、信息失真、动态范围限制、以及难以控制传输数据率。

[0016] 因此,需要减小数据量的备选解决方案,特别是用于在 CPRI 上传输的复值 OFDM 数据的数据量。更具体地,需要压缩 / 解压缩复值 OFDM 数据的方法和装置。

发明内容

[0017] 应当强调的是,术语“包括”当在本说明书中使用时用来指所述特征、要件、步骤、组成部分的存在,但不排除一个或多个其它特征、要件、步骤、组成部分或它们的组合的存在或增加。

[0018] 一些实施例的目的是消除至少一些上述缺点,并且提供用于复值 OFDM 数据的压缩 / 解压缩的方法和装置。一些实施例提供复值样本的同相样本值表示和正交样本值表示的比特长度 (例如分辨率) 的压缩 / 解压缩。

[0019] 根据第一方面,这是通过压缩方法来实现的,所述压缩方法包括:接收包括多个复值数据样本的时域复值正交频分复用 (OFDM) 数据块,其中每个复值数据样本包括同相样本值和正交样本值,同相样本值和正交样本值中的每一个由第一数量 M 的比特表示。

[0020] 所述方法包括:针对每个复值数据样本,确定同相样本值和正交样本值中的每一个的绝对样本值;计算时域复值 OFDM 数据块的绝对样本值的平均值以产生平均绝对样本值;以及基于映射函数将平均绝对样本值映射到与绝对样本值相关联的标准偏差值。

[0021] 映射函数将平均绝对样本值表示为第一函数减去第二函数,其中第一函数是比特的第一数量的函数,并且第二函数是 $2^{(M-1)}$ 项的和,其中每项包括标准偏差的函数。

[0022] 所述方法还包括:(针对每个复值数据样本)使用以标准偏差值缩放的多个量化

阈值对同相样本值和正交样本值中的每一个进行量化,以产生量化的同相和正交样本值表示,量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特,其中第二数量的比特少于第一数量的比特。

[0023] 根据所述方法,将标准偏差值与量化的同相和正交样本值表示映射到 OFDM 传输帧。

[0024] OFDM 传输帧可以例如是 CPRI 基本帧或回程通信传输帧。

[0025] 通过将中心极限定理应用到同相和正交样本值,标准偏差值可以与绝对样本值相关联。因此,随着同相和正交样本值的数量增加,它们的分布接近于具有零均值和与所述标准偏差值相对应的标准偏差的高斯分布。

[0026] 从平均绝对样本值到标准偏差值的映射可以包括使用平均绝对样本值来寻址实现映射函数的查找表。

[0027] 备选地,从平均绝对样本值到标准偏差值的映射可以包括基于平均绝对样本值和映射函数来计算标准偏差值。

[0028] 量化阈值可以是非均匀量化的级别。根据一些实施例,量化阈值可以基于同相和正交样本值与量化的同相和正交样本值表示之间的最小均方误差,其中同相和正交样本值具有高斯分布,所述高斯分布具有标准偏差值和零均值。量化阈值可以例如包括 Lloyd-Max 量化阈值。

[0029] 根据一些实施例,可以根据所述方法对多个时域复值 OFDM 数据块进行处理,其中相应的量化的同相和正交样本值表示映射到相同 OFDM 传输帧。

[0030] 在这样的实施例中,多个数据块中的每个数据块可以与相应的标准偏差值相关联,其中相应的标准偏差值映射到相同 OFDM 传输帧。

[0031] 备选地,多个数据块可以与相同标准偏差值相关联,所述相同标准偏差值映射到 OFDM 传输帧。在这些实施例中,方法包括:计算时域复值 OFDM 数据块的绝对样本值在多个数据块上的平均值,以产生平均绝对样本值。

[0032] 在一些实施例中,所述方法还包括:在传输介质上传输 OFDM 传输帧。传输介质可以例如包括通用公共无线接口 (CPRI)。

[0033] 映射函数例如可以是:

$$[0034] \quad \overline{|x|} = (2^{(M-1)} - 0.5) - \sum_{m=0}^{(2^{(M-1)} - 2)} erf\left(\frac{m+1}{\sigma\sqrt{2}}\right),$$

[0035] 其中, σ 表示标准偏差值, $\overline{|x|}$ 表示平均绝对样本值。函数 $erf(\cdot)$ 是误差函数,并且定义为:

$$[0036] \quad erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt.$$

[0037] 在一些实施例中,时域复值 OFDM 数据块可以包括在第一数据流中,所述第一数据流具有可变的第二数据率,并且 OFDM 传输帧可以包括在第二数据流中,所述第二数据流具有固定的第二数据率。在这样的实施例中,所述方法还包括:基于第一和第二数据率来选择量化阈值的数量。因此,无论输入数据率(第一数据率)如何,所述量化可以适于(就量化阈值的数量而言,并且还可能就量化阈值分布而言)保持传输数据率(第二数据率)恒定。

[0038] 第二方面是解压缩方法,所述解压缩方法包括:接收 OFDM 传输帧,所述 OFDM 传输帧包括标准偏差值和多个量化的同相和正交样本值表示,所述量化的同相和正交样本值表

示中的每一个包括第二数量的比特；提取标准偏差值；以及提取量化的样本值表示。

[0039] 所述方法还包括：（针对量化的同相和正交样本值表示中的每一个）将量化的同相或正交样本值表示映射到以标准偏差值缩放的重构级别以产生重构的同相或正交样本值，所述重构的同相或正交样本值由第三数量的比特来表示，其中第二数量的比特少于第三数量的比特；以及将多个重构的同相和正交样本值组合成重构的时域复值 OFDM 数据块。

[0040] 在一些实施例中，接收的 OFDM 传输帧可以是根据第一方面的 OFDM 传输帧。根据这些实施例，第三数量的比特可以等于或不等于第一数量的比特。

[0041] 所述方法还包括：以标准偏差值来缩放多个重构级别。重构级别可以对应于第一方面的量化阈值。例如，重构级别可以表示第一方面的两个相邻量化阈值之间的重构的样本值。

[0042] 第三方面是压缩器，所述压缩器包括：输入端口、绝对值确定器、平均值计算器、统计映射器、量化器和信号映射器。

[0043] 输入端口适于接收时域复值 OFDM 数据块，所述时域复值 OFDM 数据块包括多个复值数据样本，其中每个复值数据样本包括同相样本值和正交样本值，所述同相样本值和正交样本值中的每一个由第一数量 M 的比特来表示。

[0044] 绝对值确定器适于针对每个复值数据样本，确定同相样本值和正交样本值中的每一个的绝对样本值，并且平均值计算器适于计算时域复值 OFDM 数据块的绝对样本值的平均值，以产生平均绝对样本值。

[0045] 统计映射器适于基于映射函数将平均绝对样本值映射到与绝对样本值相关联的标准偏差值。映射函数将平均绝对样本值表示为第一函数减去第二函数，其中第一函数是比特的第一数量的函数，并且第二函数是 $2^{(M-1)}$ 项之和的函数，其中每项包括标准偏差值的函数。

[0046] 量化器适于（针对每个复值数据样本）使用以标准偏差值缩放的多个量化阈值对同相样本值和正交样本值中的每一个进行量化，以产生量化的同相和正交样本值表示，量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特，其中第二数量的比特少于第一数量的比特，并且信号映射器适于将标准偏差值和量化的同相和正交样本值表示映射到 OFDM 传输帧。

[0047] 在一些实施例中，统计映射器可以包括实现映射函数的统计查找表，并且所述映射器适于使用平均绝对样本值来寻址统计查找表。

[0048] 根据一些实施例，时域复值 OFDM 数据块可以包括在第一数据流中，所述第一数据流具有可变的第一数据率，并且 OFDM 传输帧可以包括在第二数据流中，所述第二数据流具有固定的第二数据率，并且压缩器还可以包括选择器，所述选择器适于基于第一和第二数据率来选择量化阈值的数量。

[0049] 压缩器还可以包括量化阈值缩放器，所述量化阈值缩放器适于以标准偏差值来对多个量化阈值进行缩放。在一些实施例中，量化阈值缩放器可以包括量化查找表，所述量化查找表针对每个所选的量化阈值数量来实现量化阈值。

[0050] 第四方面是解压缩器，所述解压缩器包括：接收器、标准偏差提取器、样本提取器、重构器和组合器。

[0051] 接收器适于接收 OFDM 传输帧，所述 OFDM 传输帧包括标准偏差值和多个量化的同

相和正交样本值表示,量化的同相和正交样本值表示中的每一个包括第二数量的比特,标准偏差提取器适于提取标准偏差值,并且样本提取器适于提取量化的同相和正交样本值表示。

[0052] 重构器适于针对量化的同相和正交样本值表示中的每一个,将量化的同相或正交样本值表示映射到以标准偏差值缩放的重构级别,以产生重构的同相或正交样本值,所述重构的同相或正交样本值由第三数量的比特来表示,其中第二数量的比特少于第三数量的比特,并且组合器适于将多个重构的同相和正交样本值组合成重构的时域复值 OFDM 数据块。

[0053] 第五方面是网络节点,所述网络节点包括根据第三方面的一个或多个压缩器以及根据第四方面的一个或多个解压缩器。所述网络节点可以是例如无线电基站。

[0054] 所述一个或多个压缩器可以包括下行链路压缩器,所述下行链路压缩器包括在网络节点的基带单元中,并且所述一个或多个解压缩器可以包括下行链路解压缩器,所述下行链路解压缩器包括在网络节点的无线电单元中。备选地或附加地,所述一个或多个压缩器可以包括上行链路压缩器,所述上行链路压缩器包括在网络节点的无线电单元中,并且所述一个或多个解压缩器可以包括上行链路解压缩器,所述上行链路解压缩器包括在网络节点的基带单元中。

[0055] 在一些实施例中,第三和第四方面可以分别附加地具有与上述第一和第二方面的各特征中的任何特征相同或相对应的特征。此外,第二和第四方面可以附加地具有与上述第一方面的各特征中的任何特征相同或相对应的特征。

[0056] 一些实施例的优点在于,开销信令的量可以减小,因为每个数据块或每个帧只传输一个特征参数(标准偏差值)。

[0057] 一些实施例的另一优点是,通过在映射函数的和中包含最小量的项,来简化从平均绝对样本值到标准偏差值的映射。当映射通过计算来实现时,这是特别有利的。

[0058] 一些实施例的另一优点是,映射函数比根据现有技术的映射函数(例如“Block Adaptive Quantization of Magellan SAR Data”by R.Kwok, W.Johnson, IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol.27, no.4, July 1989, pp. 375-383)更准确。

[0059] 一些实施例的另一优点是可以控制传输数据率。例如,无论输入数据率如何,传输数据率可以保持恒定。

附图说明

[0060] 参照附图,其它目的、特征和优点将会从下文中实施例的详细描述体现出来,其中:

[0061] 图 1 是示出了根据一些实施例的示例方法步骤的流程图;

[0062] 图 2 是示出了根据一些实施例的示例方法步骤的流程图;

[0063] 图 3 是示出了根据一些实施例的示例映射函数的曲线;

[0064] 图 4 是示出了根据一些实施例的示例 OFDM 传输帧的示意图;

[0065] 图 5 是示出了根据一些实施例的示例 CPRI 协议的函数的示意图;

[0066] 图 6 是示出了根据一些实施例的示例网络节点的框图;

- [0067] 图 7 是示出了根据一些实施例的示例压缩器的框图；
- [0068] 图 8 是示出了根据一些实施例的具有压缩器的示例装置的框图；
- [0069] 图 9 是示出了根据一些实施例的示例压缩器的框图；
- [0070] 图 10 是示出了根据一些实施例的具有压缩器的示例装置的框图；
- [0071] 图 11 是示出了根据一些实施例的具有压缩器的示例装置的框图；
- [0072] 图 12 是示出了根据一些实施例的示例解压缩器的框图；
- [0073] 图 13 是示出了根据一些实施例的具有解压缩器的示例装置的框图；
- [0074] 图 14 是示出了根据一些实施例的具有解压缩器的示例装置的框图；
- [0075] 图 15 是示出了根据一些实施例的具有解压缩器的示例装置的框图；
- [0076] 图 16 是根据一些实施例的仿真的示例结果的曲线；以及
- [0077] 图 17 是根据一些实施例的仿真的示例结果的曲线。

具体实施方式

[0078] 在下文中,将会描述提供复值 OFDM 信号的压缩和解压缩的实施例,适于与无线电基站的通用公共无线电接口 (CPRI) 一起使用,所述无线电基站符合 UMTS LTE/LTE-A。然而,所述复值 OFDM 信号压缩和解压缩也可以用于其它应用。

[0079] 在时间区间 $t \in [0, NT]$ 上定义的、通过 N 个不同子信道传输的具有 N 个数据符号的时域复值数字化离散 OFDM 信号可以表示为 $s_N(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} A_i e^{j\omega_i t}$, $\omega_i = \frac{2\pi i}{NT}$, 其中

A_i 表示复值基带调制符号。如果该 OFDM 信号在时间 $t = nT$ 处采样,则离散复值 OFDM 样本可以表示为 $s_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} A_i e^{j\frac{2\pi i n}{N}}$, $n = 0, 1, \dots, N-1$, 其中 s_n 是独立同分布的 (i. i. d.)

随机变量的和。根据中心极限定理,当子载波的数量趋于无穷大时, s_n 收敛到零均值平稳的高斯随机过程,并且针对有限数量的子载波近似如此,其中近似可以应用在以下实施例中的一些实施例中。

[0080] 根据一些实施例,当压缩的 OFDM 信号通过 CPRI 传输时,数据传输能够处在比使用未压缩信号更低的数据率。这继而能够实现 CPRI 的容量 (例如 BBU 与 RRU 之间) 提高,减少硬件和 / 或软件复杂性,并且降低光纤光学模块和 / 或高速 SerDes 的成本。

[0081] 复值 OFDM 信号的压缩和解压缩是基于复值数据样本 (即具有同相部分和正交部分的数据样本,也被称为 I/Q 数据) 的量化和重构。

[0082] 一些实施例使用具有固定长度编码的非均匀多速率块自适应量化。压缩率可以高达 [未压缩的比特长度] : [压缩的比特长度] = 2 : 1, 而误差向量幅度 (EVM) 损失可以约束到可接受水平,并且就最小均方误差 (MMSE) 而言,信噪比 (SNR) 损失基于复值 OFDM 信号的统计来最小化。例如,如果针对未压缩的 I/Q 样本的比特长度是 15 比特 (针对 90dB 动态范围,固定有符号格式),并且如果压缩器每个 I/Q 样本输出 7 比特,则实现了 46.67% 的压缩率。如果 3% 用于压缩参数开销,则压缩率是 50%。

[0083] 图 1 示出了根据一些实施例的示例压缩方法 100。在步骤 110 中,接收 L 个连续复值样本的时域复值 OFDM 数据块,其中块的大小 L 是可调节的。 L 个复值样本中的每个样本包括同相样本值和正交样本值,同相样本值和正交样本值中的每个由 M 个比特来表示 (本

文中假设 M 个比特中包括符号位)。在一些应用中,接收步骤 110 可以涉及数据的缓冲。

[0084] 在步骤 115 中,确定每个同相和正交样本值的绝对值,并且在步骤 120 中计算平均绝对样本值。所述平均值可以例如在数据块的所有同相和正交样本值上计算。所述计算可以例如通过绝对样本值的累加(或积分)和缩放来实现,例如按照以下公式:

$$[0085] \quad \overline{|x|} = \frac{1}{2L} \sum_{l=0}^{L-1} (|I_l| + |Q_l|),$$

[0086] 其中, $[x_0, \dots, x_{L-1}] = [(I_0, Q_0), \dots, (I_{L-1}, Q_{L-1})]$ 是时域复值 OFDM 数据块,并且 $\overline{|x|}$ 是平均绝对样本值。

[0087] 在步骤 125 中,平均绝对样本值映射到标准偏差值,所述标准偏差值表示同相和正交样本值的标准偏差的近似。所述映射可以基于映射函数,所述映射函数将平均绝对样本值表示为第一函数减去第二函数,其中第一函数是比特的第一数量的函数,并且第二函数是 $2^{(M-1)}-1$ 项之和,其中每项包括标准偏差的函数。映射函数可以是例如以下公式:

$$[0088] \quad \overline{|x|} = (2^{(M-1)} - 0.5) - \sum_{m=0}^{(2^{(M-1)}-2)} \text{erf}\left(\frac{m+1}{\sigma\sqrt{2}}\right)$$

[0089] 其中, σ 表示标准偏差值,假设 $[I_0, \dots, I_{L-1}]$ 和 $[Q_0, \dots, Q_{L-1}]$ 是独立同分布的(i. i. d.) 高斯变量,其具有平均值 0 和标准偏差 σ (即 $N(0, \sigma^2)$),并且误差函数定义为:

$$[0090] \quad \text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt.$$

[0091] 以上示例映射函数可以从以下的简化导出:

$$[0092] \quad \overline{|x|} = 2 \sum_{m=0}^{(2^{(M-1)}-1)} (x_m + 0.5) \int_{x_m}^{x_{m+1}} p_X(x) dx + 2(x_{(2^{(M-1)})} + 0.5) \int_{x_{(2^{(M-1)})}}^{\infty} p_X(x) dx,$$

[0093] 其中 $p_X(x)$ 是高斯概率函数,并且 x_m 对应于以 M 个比特表示的不同的样本值。

[0094] 图 3 示出了该示例映射函数 300,其中在 X 轴上表示标准偏差值,并且在 Y 轴上表示平均绝对值。

[0095] 应当注意的是,求和是从 0 到 $2^{M-1}-2$,与以下文献不同:“Block Adaptive Quantization of Magellan SAR Data”by R. Kwok, W. Johnson, IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 27, no. 4, July 1989, pp. 375-383,其中求和是从 0 到 $2^{M-1}-1$ 。

[0096] 所述映射可以例如通过计算或通过对实现映射函数的查找表的寻址来执行。如果查找表作为一对一映射在只读存储器 (ROM) 中实现,则平均绝对样本值可以直接用作寻址值。

[0097] 在步骤 130 中,使用标准偏差值来缩放可应用的量化阈值,即以下公式表示未缩放的量化阈值:

$$[0098] \quad \hat{Q} = \sigma Q = [\sigma q_0, \dots, \sigma q_{2^k-2}], \text{其中 } q_i, i = 0, \dots, 2^k-2.$$

[0099] 可以选择量化阈值,使得在 MMSE 意义上,量化误差变得尽可能小。例如,可以应用在以下文献中出现的 Lloyd-Max 算法:“Least Squares Quantization in PCM”by S. Lloyd, IEEE transactions on Information Theory, vol. IT-28, no. 2, March 1982, pp. 129-137。

[0100] 量化阈值的数量(以及因此表示的比特数量 K) 可以是可变的,并且可以与各种压

缩模式相关联。在步骤 105 中,可以基于输入数据率与期望的压缩数据率之间的关系来选择可应用的压缩模式。例如,输入流(其中包括要处理的 OFDM 块)的数据率可以变化,可以期望控制输出数据率(将要在 CPRI 上传输的流的速率),使得其保持恒定值。输入数据率中每个样本的比特数量(M)与输出数据率中每个样本的比特数量(K)之间的关系可以限定可应用的压缩模式。

[0101] 然后,在步骤 140 中,使用缩放的量化阈值对数据块的同相和正交样本值(I_l 和 Q_l , $l = 0, \dots, L-1$)中的每一个进行量化:

$$[0102] \quad \text{quantized}(I_l) = \begin{cases} w_0 & I_l < \sigma q_0 \\ w_k & \sigma q_k \leq I_l < \sigma q_{k+1}; k = 0, \dots, 2^K - 2, \\ w_{2^K-1} & \sigma q_{2^K-1} \leq I_l \end{cases}$$

[0103] 并且对于 Q_l 同样处理, $[w_0, \dots, w_{2^K-1}]$ 是量化的样本值的表示,每个所述量化的样本值包括K个比特(其中K典型地小于M)。

[0104] 应当注意的是,以 $1/\sigma$ 来缩放同相和正交样本值中的每一个以及使用未缩放的量化阈值来对其进行量化等同于步骤 130 和 140 中的操作。

[0105] 量化阈值(和/或缩放的量化阈值)可以存储在例如查找表中。

[0106] 在步骤 135 和步骤 145 中,分别将标准偏差值和量化的样本值表示映射到 OFDM 传输帧。应当注意的是,如图 1 中所示,步骤 135 和步骤 145 可以并行或单独执行(步骤 135 可以在步骤 140 执行之前、期间或之后执行)。典型地,标准偏差值可以映射到传输帧的控制和管理(C&M)信息字段,并且量化的样本值表示可以映射到传输帧的相应的天线信道(AxC)字段,并且传输帧可以通过 CPRI 层 1 数据链路来传输。

[0107] 如步骤 150 所示,可以通过类似方式处理若干个数据块来填充 OFDM 传输帧。每个数据块可以与单独的标准偏差值相关联,或者传输帧的所有数据块可以共享标准偏差值。

[0108] 最后,在步骤 155 中,在数据链路(例如 CPRI)上传输 OFDM 传输帧。

[0109] 图 2 示出了根据一些实施例的示例解压缩方法 200。在步骤 205 中,在数据链路(例如 CPRI)上接收 OFDM 传输帧,所述 OFDM 传输帧包括标准偏差值和多个量化的同相和正交样本值表示(其中每个包括K个比特)。例如,在步骤 205 中接收的传输帧可以对应于图 1 方法执行期间创建的 OFDM 传输帧。

[0110] 在步骤 210 中,可以从 OFDM 传输帧中提取可应用的压缩模式(相比于图 1 的步骤 105)以应用在以下步骤中。

[0111] 在步骤 215 中,从 OFDM 传输帧中(例如从例如 C&M 信息字段中通过解映射操作)提取标准偏差值,并且在步骤 225 中,从 OFDM 传输帧中(例如从例如 AxC 容器字段中通过解映射操作)提取对应于数据块的量化样本值表示。如上所述,OFDM 传输帧的块可以共享单个标准偏差值,或者每个数据块可以对应于其自身的标准偏差值。在后一情况中,如图 2 所示,步骤 215 针对每个数据块来执行(例如针对压缩的数据块的每个开始指示),而在前一情况下,每个 OFDM 传输帧可执行一次步骤 215。

[0112] 标准偏差值用于重构操作。量化的同相和正交样本值表示中的每一个(包括K个比特)映射到以标准偏差来缩放的重构级别,以产生包括P个比特的重构的样本值(其中K典型地小于P,并且K可能等于或可能不等于M)。

[0113] 可以通过步骤 201 提取的压缩模式来确定要使用哪个集合的重构级别。

[0114] 在一个方法中,并且如图 1 所示,在步骤 220 中,首先以标准偏差值对可应用的重构级别的集合进行缩放,并且,然后在步骤 230 中,通过将量化的样本表示映射到缩放的重构级别来实现重构的样本。

[0115] 在步骤 220 中,可应用的量化阈值的缩放可以例如由 $\hat{R} = \sigma R = [\sigma r_0, \dots, \sigma r_{2^k-1}]$ 表示,其中 $r_i, i = 0, \dots, 2^k-1$ 表示未缩放的重构级别,并且在步骤 230 中量化的样本表示到缩放的重构级别的映射可以包括量化的样本值的表示 $[w_0, \dots, w_{2^k-1}]$ 与缩放的重构级别 $[\sigma r_0, \dots, \sigma r_{2^k-1}]$ 之间的一对一映射。

[0116] 重构级别(和/或缩放的重构级别)可以例如存储在查找表中。如果查找表实现为只读存储器(ROM)中的一对一映射,则量化的样本值表示可以直接用作寻址值。

[0117] 最后,在步骤 235 中,将适当的重构的同相和正交样本值组合,以形成 L 个连续复值样本的重构的时域复值 OFDM 数据块。

[0118] 如果在 OFDM 传输帧中存在更多的数据块(从步骤 240 中否路径),则过程回到步骤 215 以处理 OFDM 传输帧的新数据块(或者,如果 OFDM 传输帧的数据块共享单个标准偏差值,则回到步骤 225)。如果 OFDM 传输帧中不存在更多的数据块(从步骤 240 中是路径),则过程回到步骤 205 来处理新的 OFDM 传输帧。

[0119] 应当注意的是,如图 2 所示,步骤 215 和步骤 225 可以并行或单独执行(步骤 225 可以在步骤 220 的执行之前、期间或之后执行)。

[0120] 图 4 示出了示例 OFDM 传输帧(例如 CPRI 基本帧),所述 OFDM 传输帧可以例如对应于如关于图 1 和图 2 描述的任何 OFDM 传输帧。时域复值 OFDM 数据块已经(例如根据图 1 的方法 100)压缩,并且以非重叠的方式逐块映射到 OFDM 传输帧。每个非压缩数据块包括 L 个连续复值样本,其中 L 是可调节的。

[0121] 图 4 的示例可以示出从 15 比特表示压缩到 7 比特表示的结果(两个表示不包括符号位),所述结果针对 LTE 下行链路和/或上行链路 I/Q 以行速率 2457.6Mbps 映射到单个基本帧中。根据该示例,每个 AxC 容器(AxC0(411), AxC1(412), AxC2(413+413'), AxC3(414), AxC4(415+415'), AxC5(416), ..., AxC31(417)) 存在 14 个比特,并且每个帧 $14 \times 32 = 448$ 个比特被压缩的 I/Q 数据占用。可以例如组织每个 AxC 容器中的比特,使得表示量化的同相样本的比特(从最高有效比特到最低有效比特来组织,或反之亦然)在表示量化的正交样本的比特(从最高有效比特到最低有效比特来组织,或反之亦然)的前面,或反之亦然。两个控制字:控制字 1(401) 和控制字 2(402) 在 OFDM 传输帧中前置,并且压缩开销(统计数据,例如标准偏差值,指示标志,例如压缩模式标志,等等)可以例如映射到控制字 2(402)。

[0122] 图 5 示出了示例 CPRI 协议中的一些实施例的使用。示例 CPRI 协议包括用户平面 501 和控制和管理(C&M)平面 502,并且图 5 示出了关于层 2(L2510)、层 1(L1520) 和物理层的操作。

[0123] 在层 2 中,用户平面包括压缩的复值样本的压缩和/或解压缩 511(例如根据本文中出现的任何实施例)以及映射/解映射 512。另外,在层 2 中,C&M 平面包括各种控制函数 513 和 C&M 映射/解映射 518。各种控制函数可以包括例如 L1 带内协议 514、高级数据链路控制(HDLC) 515、以太网 516,以及厂商特定字节 517。

[0124] 在层 1 与层 2 之间、针对相应层 2 映射器/解映射器的映射/解映射的信号

口分别是用户平面信道 521 和 C&M 信道 522。层 1 操作包括成帧 / 解帧 523 和串行化 / 解串行化 (SerDes) 524, 并且物理层包括在光纤 531 和 / 或电介质 532 上的发送和接收 (TX/RX)。

[0125] 这些函数和操作中的大部分是已知的 (例如从 CPRI 规范中), 并且因此不再详细描述。

[0126] 可以注意的是, 压缩 / 解压缩限于层 2 用户平面操作, 并且因此, 除了 C&M 信道中压缩 / 解压缩开销 (例如统计和模式标记) 的映射 / 解映射以外, 该实施例典型地将不会主要地影响 CPRI 协议。一些实施例还可以对用户平面信道中的映射 / 解映射进行一些修改。

[0127] 图 6 示出了示例网络节点 (例如无线电基站, RBS) 600, 所述网络节点 600 包括通过接口 (CPRI, 例如包括光纤传输) 630 连接的远程无线电单元 (RRU) 610 和基带单元 (BBU) 620。如图 6 所示, 网络节点可以包括用于上行链路 (UL) 和下行链路 (DL) 数据的压缩 / 解压缩对。因此, RRU610 包括上行链路数据压缩器 (UL COMPR) 611 和下行链路数据解压缩器 (DL DECOMPR) 612; 而 BBU620 包括上行链路数据解压缩器 (DL DECOMPR) 621 和下行链路数据压缩器 (DL COMPR) 622。应当注意的是, 图 6 的实施例仅仅是示例, 并且 REC 和 RE 的任何拓扑可以从本文中出现的方法中受益。

[0128] 图 7 示出了根据一些实施例的示例压缩器 (COMPR) 700。所述压缩器可以例如适于执行关于图 1 描述的方法 100。压缩器 700 包括输入端口 (IN) 701、绝对值确定器 (ABS) 702、平均值计算器 (AVG) 703、统计映射器 (MAP) 704、量化器 (QUANT) 707 和成帧器 (FRAME) 708。

[0129] 输入端口 701 适于接收 L 个连续复值样本的时域 OFDM 数据块, 其中块大小 L 是可调节的。L 个复值样本中的每一个包括同相样本值和正交样本值, 同相样本值和正交样本值中的每一个由 M 个比特来表示。输入端口 701 可以例如适于执行图 1 的步骤 110。

[0130] 绝对值确定器 702 适于确定同相和正交样本值中的每一个的绝对值, 并且平均值计算器 703 适于 (典型地在 L 个复值样本的块上) 计算绝对样本值的平均值。绝对值确定器 702 和平均值计算器 703 可以例如适于分别执行图 1 的步骤 115 和 120。

[0131] 统计映射器 704 适于基于映射函数将计算的平均值映射到标准偏差值。统计映射器 704 还可以包括实现映射函数的统计查找表 (LUT) 704'。查找表 704' 可以与统计映射器 704 是一个整体, 或者在统计映射器 704 外部。在一些实施例中, 统计映射器 704 适于以平均绝对样本值来寻址查找表 704'。统计映射器可以例如适于执行图 1 的步骤 125。

[0132] 量化器 707 适于使用以标准偏差值缩放的多个量化阈值来对同相和正交样本值中的每一个进行量化。量化器 707 可以例如适于执行图 1 的步骤 140 (并且还可能执行步骤 130)。

[0133] 在一些实施例中, 压缩器还可以包括量化阈值缩放器 (SCALE) 705, 所述量化阈值缩放器 705 适于以标准偏差值对多个量化阈值进行缩放。量化阈值缩放器 705 可以包括量化查找表 (LUT) 706, 所述量化查找表针对每个选择数量的量化阈值实现量化阈值。查找表 706 可以与缩放器 705 是一个整体, 或者在缩放器 705 外部。在一些实施例中, 缩放器 705 可以包括在量化器 707 中。缩放器可以例如适于执行图 1 的步骤 130。

[0134] 成帧器 708 适于将标准偏差值和量化样本值映射到 OFDM 传输帧, 以在传输介质上传输。成帧器 708 可以例如适于执行图 1 的步骤 135 和 145。

[0135] 在一些实施例中,压缩器 700 还可以包括选择器 (SEL) 709,所述选择器适于基于输入端口 701 处的数据率和成帧器 708 的输出处的期望数据率来选择压缩模式 (例如要应用的多个量化阈值)。选择器可以例如适于执行图 1 的步骤 105。

[0136] 图 8 示出了压缩器 800 的装置,其中压缩模式选择在压缩器 800 外部执行。所述装置包括 I/Q 数据源 (I/Q) 801、压缩模式选择器 (SEL) 809、压缩器 (COMPR) 800、复用器 (MUX) 850 和传输介质 (CPRI) 860。模式选择器 809 适于 (通过图 8 的开关) 控制未压缩和压缩模式之间的切换,并且 (通过输入到压缩器 800 的控制信号) 控制不同压缩速率之间的切换。模式选择器 809 可以例如以类似于图 7 的选择器 709 的方式来选择压缩模式。

[0137] 在未压缩模式中,来自数据源 801 的 I/Q 数据通过复用器 850 直接向传输介质 860 传输,在传输介质 860 中所述数据适当地成帧并传输。

[0138] 在压缩模式中,在压缩器 800 中 (根据压缩模式控制信号) 对来自数据源 801 的 I/Q 数据进行压缩,并且然后通过复用器 850 向传输介质 860 传输压缩的样本和压缩开销,在传输介质 860 中所述压缩的样本和压缩开销适当地成帧并传输。

[0139] 图 9 示出了根据一些实施例的另一个示例压缩器 (COMPR) 900。I/Q 数据源 (I/Q) 901 向压缩器 900 提供 I/Q 数据。压缩器包括分派器 (DISPATCH) 910、集成器 (INTEGR) 903、估计器 (EST) 904、量化器 (QUANT) 907、编码器 (ENC) 911 和成帧器 (FRAME) 908。

[0140] 在分派器 910 中,I/Q 数据被分派到 L 个复值样本的块中,并且在集成器 903 中计算样本的平均绝对值。集成器 903 的操作可以与图 7 的 702 和 703 的操作以及图 1 的 115 和 120 的操作类似或相同。

[0141] 在估计器 904 中,平均绝对值映射到对应的标准偏差。估计器 904 的操作可以与图 7 的 704 和图 1 的 125 的操作类似或相同。

[0142] 然后,在量化器 907 中,基于标准偏差对 I/Q 样本进行量化。量化器 907 的操作可以与图 7 的 707 和图 1 的 140 的操作类似或相同。量化器 907 的输出可以在编码器 911 中经历编码,并且在成帧器 908 中,量化的编码的样本与标准偏差一起映射到传输帧。成帧器 908 的操作可以与图 7 的 708 和图 1 的 135 以及 145 的操作相同。

[0143] 图 10 示出了根据一些实施例的另一个压缩器 (COMPR) 1000。I/Q 数据源 (I 数据和 Q 数据) 1001i、1001q 向压缩器 100 提供 I/Q 数据。压缩器包括:两个绝对值确定器 (ABS) 1002i、1002q;均值计算器 (MEAN) 1003;统计映射器 (STAT) 1004;量化器 (QUANT) 1007,包括针对不同压缩模式的多个码本 1006;两个比特组装器 (PACK) 1011i、1011q;以及成帧器 (FRAME) 1008。

[0144] 相应 I 和 Q 样本的绝对值在相应绝对值确定器 1002i 和 1002q 中计算,并且向均值计算器 1003 转发,平均计算器 1003 计算 I 和 Q 样本的平均绝对值。每个样本的符号位直接从绝对值确定器向相应的比特组装器 1011i、1011q 转发。绝对值确定器 1002i、1002q 和均值计算器 1003 的操作可以与图 7 的 702 和 703 以及图 1 的 115 和 120 的操作类似或相同。

[0145] 在统计映射器 1004 中,平均绝对值映射到对应的标准偏差。统计映射器 1004 的操作可以与图 7 的 704 和图 1 的 125 的操作类似或相同。

[0146] 然后,在量化器 1007 中基于标准偏差对 I/Q 样本 (或实际上为了效率只对它们的

绝对值)进行量化。图 10 的装置还包括压缩模式选择器 (SEL) 1009, 所述压缩模式选择器通过激活适当的码本 1006 来控制量化器 1007。量化器 1007 的操作可以与图 7 的 707 和图 1 的步骤 140 的操作类似或相同, 并且压缩模式选择器 1009 的操作可以与图 7 的 709 和图 1 的步骤 105 的操作类似。

[0147] 量化器 1007 的输出在比特包装器 1011i、1011q 中与相应的符号位相结合, 并且量化的有符号样本在成帧器 1008 中组合为复值量化样本。

[0148] CPRI 接口 1060 包括 I/Q 映射器 1061 和 C&M 映射器 1062, 所述 I/Q 映射器将复值量化样本映射到传输帧, 所述 C&M 映射器将标准偏差和压缩模式指示符映射到传输帧。映射器 1061 和 1062 的操作可以与图 7 的 708 和图 1 的 135 以及 145 的操作类似。

[0149] 图 11 示出了根据一些实施例的压缩器的逻辑框图。I/Q 数据源 1101a 向 I/Q 数据块 DPRAM 1101b 提供 I/Q 数据样本, 所述 I/Q 数据块 DPRAM 向求和单元 (SUM) 1102 输出 I 和 Q 样本 (可能没有符号位), 所述求和单元对 I 和 Q 样本的幅度进行求和。

[0150] 累加器 (AAC) 1103 将针对 L 个复值样本的幅度和累加 (与图 1 的步骤 115 和 120 相比), 并且其结果用于寻址查找表 (LUT) 1104 以产生对应的标准偏差值 (与图 1 的步骤 125 相比)。

[0151] 从查找表 1104 输出的标准偏差值用于在乘法器 (MULT) 1105 中对多个量化阈值进行缩放, 并且缩放的量化阈值用于在比较器 (COMP) 1107 中对从 DPRAM 1101b 输出的 I 和 Q 样本进行量化 (与图 1 的步骤 130 和 140 相比)。

[0152] 在 CPRI 成帧器 1160 的 I/Q 映射器 (I/Q MAP) 中, 将量化的 I 和 Q 样本映射到传输帧, 并且在 CPRI 成帧器 1160 的 C&M 映射器 (C&M) 1162 中, 将标准偏差值映射到传输帧 (与图 1 的步骤 135 和 145 相比)。

[0153] 图 7-11 中出现的实施例的各种特征可以通过不同于图中示出的方式来组合。例如, 图 7 的压缩器 700 的选择器 709 可以在压缩器的外部实现, 如图 8 所示。

[0154] 图 12 示出了根据一些实施例的示例解压缩器 (DE-COMPR) 1200。解压缩器可以例如适于执行关于图 2 描述的方法 200。解压缩器 1200 包括: 接收器 (REC) 1202、标准偏差提取器 (ST DEV) 1204、样本提取器 (SAMPLE) 1206、重构器 (RECONSTR) 1208 (可能继而包括查找表 (LUT) 1206), 以及组合器 (COMB) 1212。

[0155] 接收器 1202 适于接收 OFDM 传输帧, 所述 OFDM 传输帧包括标准偏差值和多个量化的同相和正交样本值表示。接收器 1202 可以例如适于执行图 2 的步骤 205。

[0156] 标准偏差提取器 1204 适于从接收的帧中提取标准偏差值, 并且样本提取器 1206 适于提取量化的同相和正交样本值表示。方框 1204 和 1206 可以例如分别适于执行图 2 的步骤 215 和 225。

[0157] 重构器 1208 适于将每个样本值表示映射到以标准偏差值缩放的重构级别。可应用的重构级别可以存储在查找表 1210 中。重构器 1208 可以例如适于执行图 2 的步骤 220 和 230。

[0158] 组合器 1212 适于将重构的样本值组合为 L 个连续复值样本的重构的时域复值 OFDM 数据块。组合器 1212 可以例如适于执行图 2 的步骤 235。

[0159] 图 13 示出了解压缩器 1300 的装置, 其中压缩模式选择包括在接收的传输帧中。所述装置包括传输帧接收器 (REC) 1302、压缩模式提取器 (MADE) 1309、解压缩器

(DE-COMPR) 1300、复用器 (MUX) 1350 和 I/Q 数据接收器 (I/Q) 1301。

[0160] 模式提取器 1309 从接收的传输帧中提取压缩模式。模式提取器 1309 适于 (通过图 13 的开关) 控制未压缩和压缩模式之间的切换, 还适于 (通过输入到解压缩器 1300 的控制信号) 控制不同的压缩速率 (即不同数量的量化阈值) 之间的切换。模式提取器 1309 可以例如适于执行图 2 的步骤 210。

[0161] 在未压缩模式中, 直接通过复用器 1350 向 I/Q 数据接收器 1301 传输来自接收器 1302 的 I/Q 样本用于进一步处理。

[0162] 在压缩模式中, (根据压缩模式控制信号) 在解压缩器 1300 中对来自接收器 1302 的 I/Q 样本进行解压缩, 并且然后通过复用器 1350 向 I/Q 数据接收器 1301 传输解压缩的样本用于进一步处理。

[0163] 图 14 示出了根据一些实施例的另一个示例解压缩器 (DE-COMPR) 1400。CPRI 接口 1402 包括 I/Q 解映射器 (I/Q DE-MAP) 1406 和 C&M 解映射器 (C&M) 1404, 所述 I/Q 解映射器从传输帧中提取复值量化样本, 所述 C&M 解映射器从传输帧中提取标准偏差和压缩模式指示符。解映射器 1406 和 1404 的操作可以与图 2 的 225 和 215 的操作类似或相同。

[0164] 解压缩器的解成帧器 (DE-FRAME) 1408 将量化的 I 与 Q 样本相互分离, 并且相应量化的 I 和 Q 样本的绝对值在相应绝对值确定器 (ABS) 1403i 和 1403q 中计算。所述绝对值向重构器 (RECONSTR) 1408 转发。每个量化样本的符号位直接从绝对值确定器向相应比特组装器 1411i、1411q 转发。

[0165] 然后, 量化的 I/Q 样本 (或实际上为了效率只有它们的绝对值) 用于在重构器 1408 中基于标准偏差来创建对应的重构的样本。图 14 的装置还包括压缩速率控制器 (RATE) 1409, 所述压缩速率控制器通过激活多个码本 1410 中适当的一个来控制重构器 1408。重构器 1408 的操作可以与图 2 的步骤 220 和 230 的操作类似或相同, 并且压缩速率控制器 1409 的操作可以与图 2 的步骤 210 的操作类似或相同。

[0166] 在比特组装器 1411i、1411q 中, 将重构器 1408 的输出与相应的符号位相结合, 并且向相应的 I 和 Q 数据接收器 1401i 和 1411q 输出重构的有符号样本。

[0167] 图 15 示出了根据一些实施例的解压缩器的逻辑框图。CPRI 接口 1502 包括 I/Q 解映射器 (I/Q DE-MAP) 1506 和 C&M 解映射器 (C&M) 1504, 所述 I/Q 解映射器从传输帧中提取复值量化样本, 所述 C&M 解映射器从传输帧中提取标准偏差。

[0168] 标准偏差值在乘法器 (MULT) 1508 中用于对查找表 (LUT) 1510 的多个重构级别进行缩放, 并且量化样本用于寻址查找表 1510 以产生对应的缩放的重构级别值, 所述缩放的重构级别值用作输出 I/Q 数据 1501。

[0169] 图 12-15 中呈现的实施例的各种特征可以通过不同于图中示出的方式来组合。例如, 图 12、14 和 15 的任何解压缩器可以用于与图 13 的装置组合。

[0170] 根据 Lloyd-Max 码本可以找到合适的量化阈值和对应的重构级别的示例。在下方的表格中, 给出了针对 $K = 7$ 的 Lloyd-Max 码本和单位方差高斯源。应当注意的是, 所述表格关于符号对称。因此, 无符号格式码本可以用于如图 10 和图 14 中举例说明的实现中的量化和重构, 并且具有不同数量的量化阈值的多个码本可以用于实现各种压缩率。

[0171]

量化阈值 (q)	重构级别 (r)	比特表示 (w)
-3.9619	-4.1893	1000000
-3.5908	-3.7345	1000001
-3.3393	-3.4470	1000010
-3.1442	-3.2315	1000011
-2.9827	-3.0568	1000100
-2.8439	-2.9086	1000101
-2.7213	-2.7791	1000110
-2.6111	-2.6635	1000111
-2.5105	-2.5587	1001000
-2.4179	-2.4624	1001001
-2.3316	-2.3733	1001010
-2.2508	-2.2900	1001011
-2.1747	-2.2117	1001100
-2.1025	-2.1377	1001101
-2.0338	-2.0674	1001110

[0172]

-1.9682	-2.0003	1001111
-1.9053	-1.9361	1010000
-1.8448	-1.8745	1010001
-1.7865	-1.8151	1010010
-1.7301	-1.7579	1010011
-1.6756	-1.7024	1010100
-1.6226	-1.6487	1010101
-1.5711	-1.5965	1010110
-1.5210	-1.5457	1010111
-1.4721	-1.4962	1011000
-1.4244	-1.4479	1011001
-1.3777	-1.4008	1011010
-1.3320	-1.3546	1011011
-1.2872	-1.3093	1011100
-1.2432	-1.2650	1011101
-1.2001	-1.2214	1011110
-1.1576	-1.1787	1011111
-1.1159	-1.1366	1100000
-1.0748	-1.0952	1100001
-1.0343	-1.0544	1100010
-0.9943	-1.0141	1100011
-0.9549	-0.9745	1100100
-0.9159	-0.9353	1100101
-0.8774	-0.8966	1100110
-0.8394	-0.8583	1100111
-0.8017	-0.8205	1101000
-0.7645	-0.7830	1101001
-0.7275	-0.7459	1101010
-0.6909	-0.7091	1101011
-0.6546	-0.6727	1101100
-0.6186	-0.6366	1101101

[0173]

-0.5829	-0.6007	1101110
-0.5474	-0.5651	1101111
-0.5121	-0.5297	1110000
-0.4771	-0.4945	1110001
-0.4422	-0.4596	1110010
-0.4075	-0.4248	1110011
-0.3730	-0.3902	1110100
-0.3386	-0.3558	1110101
-0.3044	-0.3215	1110110
-0.2703	-0.2873	1110111
-0.2363	-0.2533	1111000
-0.2024	-0.2193	1111001
-0.1685	-0.1854	1111010
-0.1347	-0.1516	1111011
-0.1010	-0.1179	1111100
-0.0673	-0.0841	1111101
-0.0337	-0.0505	1111110
0	-0.0168	1111111
0.0337	0.0168	0000000
0.0673	0.0505	0000001
0.1010	0.0841	0000010
0.1347	0.1179	0000011
0.1685	0.1516	0000100
0.2024	0.1854	0000101
0.2363	0.2193	0000110
0.2703	0.2533	0000111
0.3044	0.2873	0001000
0.3386	0.3215	0001001
0.3730	0.3558	0001010
0.4075	0.3902	0001011
0.4422	0.4248	0001100
0.4771	0.4596	0001101
0.5121	0.4945	0001110
0.5474	0.5297	0001111
0.5829	0.5651	0010000

[0174]

0.6186	0.6007	0010001
0.6546	0.6366	0010010
0.6909	0.6727	0010011
0.7275	0.7091	0010100
0.7645	0.7459	0010101
0.8017	0.7830	0010110
0.8394	0.8205	0010111
0.8774	0.8583	0011000
0.9159	0.8966	0011001
0.9549	0.9353	0011010
0.9943	0.9745	0011011
1.0343	1.0141	0011100
1.0748	1.0544	0011101
1.1159	1.0952	0011110
1.1576	1.1366	0011111
1.2001	1.1787	0100000
1.2432	1.2214	0100001
1.2872	1.2650	0100010
1.3320	1.3093	0100011
1.3777	1.3546	0100100
1.4244	1.4008	0100101
1.4721	1.4479	0100110
1.5210	1.4962	0100111
1.5711	1.5457	0101000
1.6226	1.5965	0101001
1.6756	1.6487	0101010
1.7301	1.7024	0101011
1.7865	1.7579	0101100
1.8448	1.8151	0101101
1.9053	1.8745	0101110
1.9682	1.9361	0101111
2.0338	2.0003	0110000
2.1025	2.0674	0110001
2.1747	2.1377	0110010
2.2508	2.2117	0110011
2.3316	2.2900	0110100
2.4179	2.3733	0110101
2.5105	2.4624	0110110
2.6111	2.5587	0110111
2.7213	2.6635	0111000
2.8439	2.7791	0111001
2.9827	2.9086	0111010

[0175]

3.1442	3.0568	0111011
3.3393	3.2315	0111100
3.5908	3.4470	0111101
3.9619	3.7345	0111110
/	4.1893	0111111

[0176] 图 16 和图 17 示出了针对 64-QAM 调制信号的数值误差向量幅度 (EVM) 分析仿真的结果, 其中平均复值时域 OFDM 信号功率限定为 -15dB , 1400 个符号 (100ms LTE 无线电帧) 用于求平均。每个数据块的样本数量设为 1024, 并且可以基于实现延迟与可用计算资源之间的权衡来设计数据块长度。

[0177] 图 16 和下方表格示出了针对 7 比特的压缩 / 解压缩产生的 EVM。

[0178]

配置	带宽 (MHz)	样本 速率 (Msps)	EVM (%) 相对 I/Q 比特大小 (有符号定点)			
			12 比特 →7 比特	13 比特 →7 比特	14 比特 →7 比特	15 比特 →7 比特
			Cr=58.33 %	Cr=53.85 %	Cr=50.00 %	Cr=46.67 %
1	5	7.68	0.8379	0.8362	0.8377	0.8381
2	10	15.36	0.8967	0.8986	0.8947	0.8966
3	15	15.36	1.1297	1.1306	1.1285	1.1273
4	15	19.2	1.0166	1.0171	1.0166	1.0176
5	15	23.04	0.9292	0.9306	0.9301	0.9291
6	20	19.2	1.1946	1.1947	1.1966	1.1958
7	20	23.04	1.0950	1.0937	1.0947	1.0959
8	20	30.72	0.9487	0.9454	0.9461	0.9451

[0179] 图 17 和下方的表格示出了针对 6 比特的压缩 / 解压缩产生的 EVM。

[0180]

配置	带宽 (MHz)	样本 速率 (Msps)	EVM (%) 相对 I/Q 比特大小 (有符号固定点)			
			12 比特 →6 比特	13 比特 →6 比特	14 比特 →6 比特	16 比特 →6 比特
			Cr=50.00 %	Cr=46.15 %	Cr=42.86 %	Cr=40.00 %

[0181]

1	5	7.68	1.6610	1.6580	1.6587	1.6591
2	10	15.36	1.7739	1.7743	1.7714	1.7711
3	15	15.36	2.2297	2.2305	2.2332	2.2324
4	15	19.2	1.9954	1.9963	1.9961	1.9954
5	15	23.04	1.8139	1.8130	1.8125	1.8134
6	20	19.2	2.3590	2.3635	2.3641	2.3629
7	20	23.04	2.1514	2.1544	2.1521	2.1509
8	20	30.72	1.8671	1.8607	1.8616	1.8637

[0182] 例如,可以看出,通过将每个 I/Q 数据从 15 比特压缩到 7 比特,2 : 1 比特长度压缩可以在具有 64-QAM 调制符号的 E-TM3.1 (参见 3GPP 规范文件 TS36.141, v. 10.3.0 (2011-06)) 20M/30.72Mpsps 信号中实现 0.95% EVM 损失。

[0183] 当然,覆盖 8 个常用的 LTE/LTE-A 带宽和样本速率配置的上述示例仿真情形应当仅视为示例。压缩解压缩实施例还适用于其它带宽和样本速率配置,例如,如 REC 或 RE HW 的 LTE/LTE-A 空中带宽中的 3M/7.68Mpsps, 3M/3.84Mpsps, 1.4M/7.68Mpsps, 1.4M/3.84Mpsps。

[0184] 通过应用描述的 OFDM 信号的 I/Q 数据压缩,复值时域 OFDM 数据的比特长度能够压缩到其原始长度的 50%。因此,给定恒定 CPRI 行速率,可以将容量加倍,这可以转化为双倍的每载波带宽、每扇区载波数量、MIMO 流、天线数量和级联级。备选地,可以减小 BBU 和 RRU 之间需要的光纤链路的数量,并且可以减少光纤和光纤收发器的成本。此外,可以减少针对给定带宽所需的 SerDes 数量 (以及其链路速率),这可以减小板的尺寸、HW/SW 复杂度和 / 或 FPGA 实现成本。

[0185] 在使用 (针对标准偏差和针对量化阈值) 两个查找表的实施例中,由于 ROM 的寻址是低延迟操作,因此可以实现低延迟。提出的算法适合于在例如 CPU、DSP、FPGA、ASIC 和 / 或 SoC 中并行实现。

[0186] 由于能够使在传输介质上的数据率恒定,可以避免由于非固定长度编码的定时和同步导致的复杂性。

[0187] 描述的实施例及其等同物可以通过软件或硬件或者其结合来实现。它们可以通过与通信设备相关联或者为一体的通用电路来执行,例如数字信号处理器 (DSP)、中央处理单元 (CPU)、协处理器单元、现场可编程门阵列 (FPGA) 或其它可编程硬件,或者有专用电路来执行,例如,如特定用途集成电路 (ASIC)。所有这样的类别都涵盖在本公开的范围之内。

[0188] 实施例可以在电子设备 (例如无线通信设备) 内出现,所述电子设备包括根据任何实施例的电路 / 逻辑或执行方法。电子设备可以例如是蜂窝网络节点或无线电基站。

[0189] 根据一些实施例,计算机程序产品包括计算机可读介质,例如,如磁盘或 CD-ROM。计算机可读介质可以存储有包括程序指令的计算机程序。计算机程序能够载入到数据处理单元中,所述数据处理单元可以例如包括在移动终端中。当载入数据处理单元中时,计算机程序可以存储在与数据处理单元相关联或为一体的存储器中。根据一些实施例,当计算机程序载入数据处理单元并由数据处理单元运行时,计算机程序可以导致处理单元执行根据例如图 1 和图 2 任意一幅图示出的方法的方法步骤。

[0190] 本文参考了本文对各种实施例进行了参考。然而,本领域技术人员将会认识到,对描述的实施例的多种变化仍然会落入权利要求的范围。例如,本文描述的方法实施例通过

一特定顺序执行的方法步骤来描述示例方法。然而,应当认识到的是,在不背离权利要求的范围的情况下,事件的这些序列可以按照其它顺序来发生。此外,尽管一些方法步骤已经描述为依次执行,但是这些方法步骤可以同时执行。

[0191] 以相同的方式,应当注意的是,在具体单元内的功能块的部分并不是限制。相反,这些部分仅仅是示例。本文描述的作为一个单元的功能块可以分为两个或两个以上单元。以相同的方式,在不背离权利要求范围的情况下,本文描述的以两个或两个以上单元实现的功能块可以作为单个单元来实现。

[0192] 因此,应当理解的是,描述的实施例的细节仅仅是针对示出的目的而不是限制。相反,所有落入权利要求范围内的变化应包含在其中。

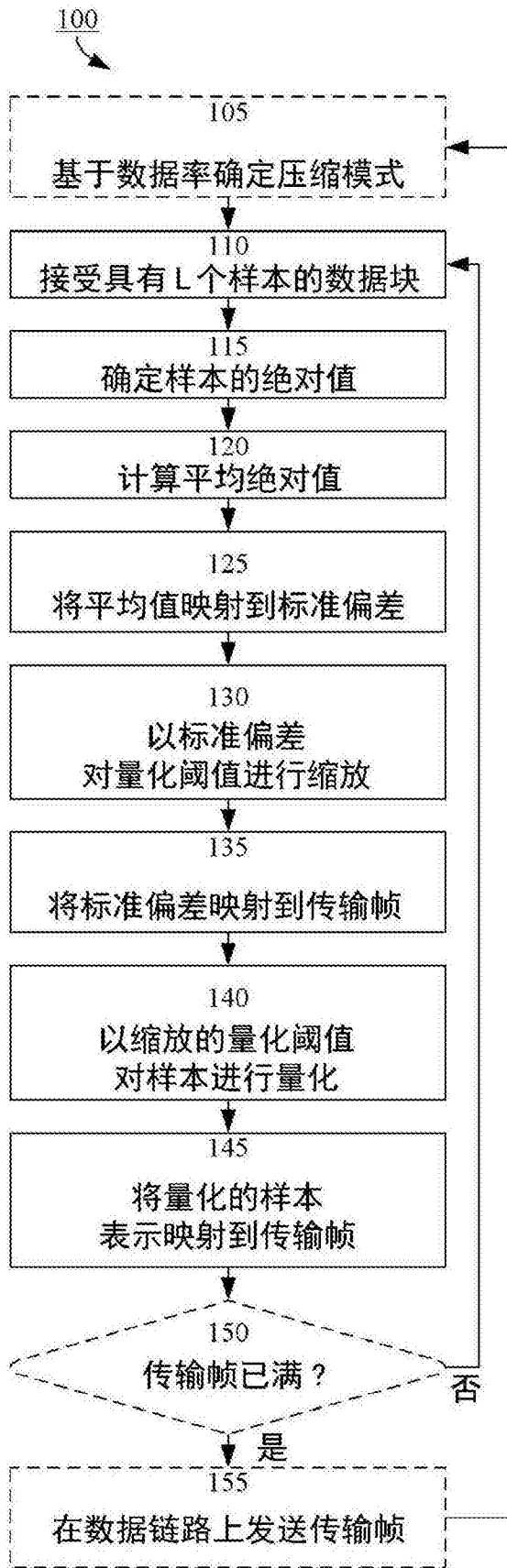


图 1



图 2

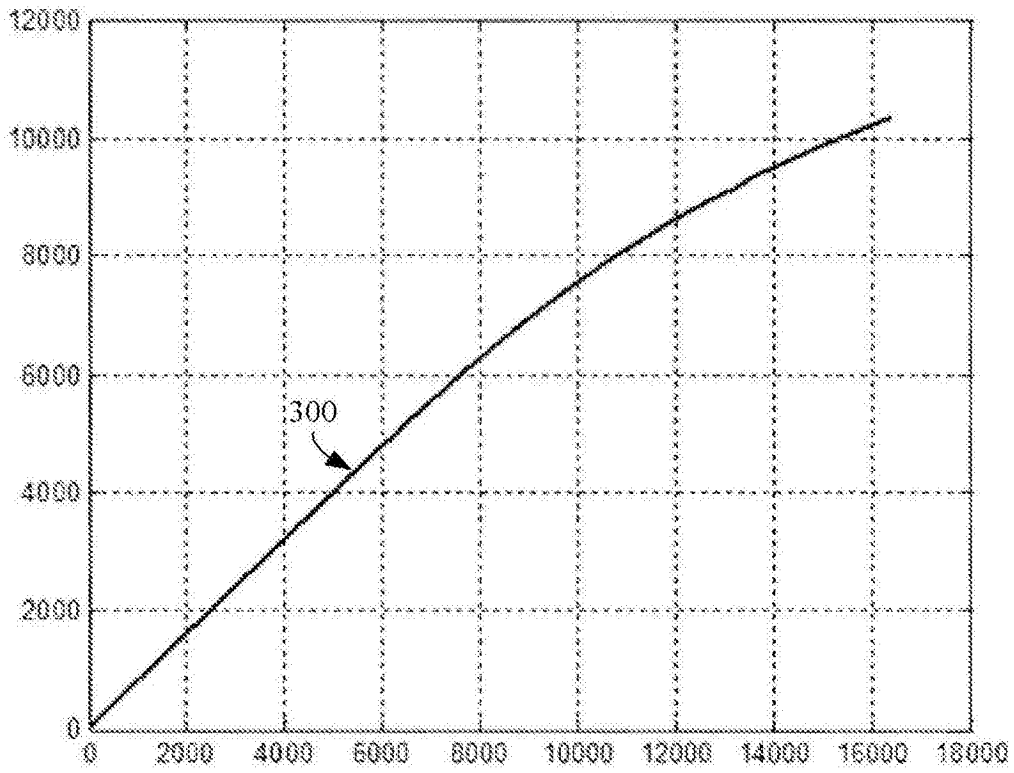


图 3

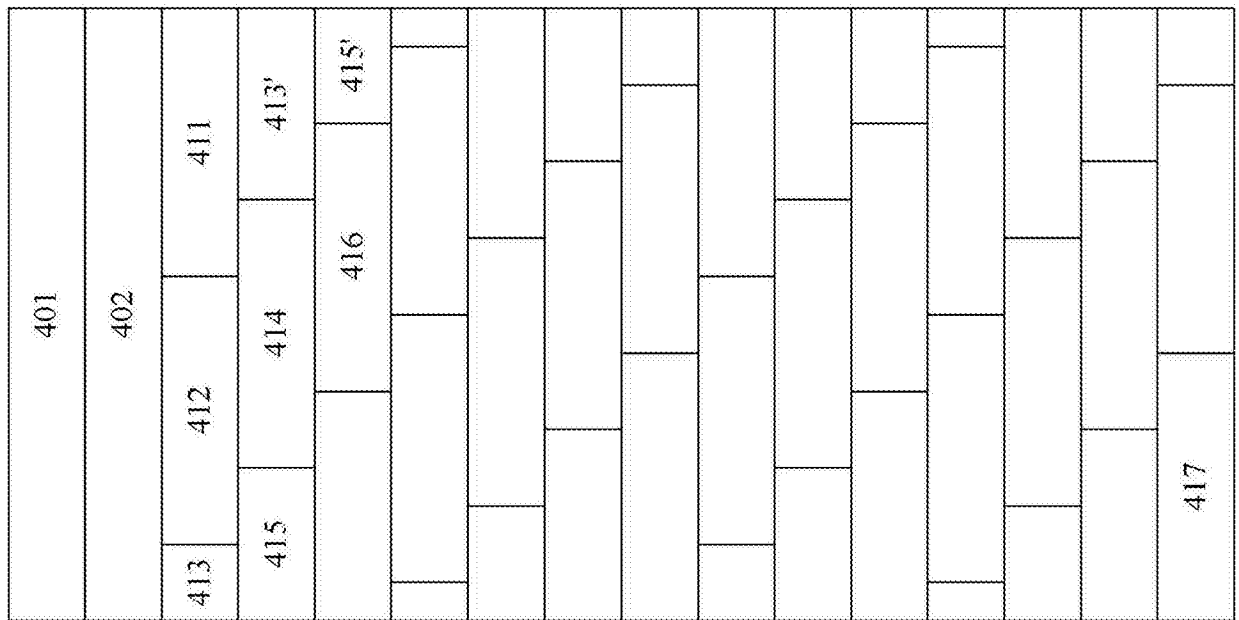


图 4

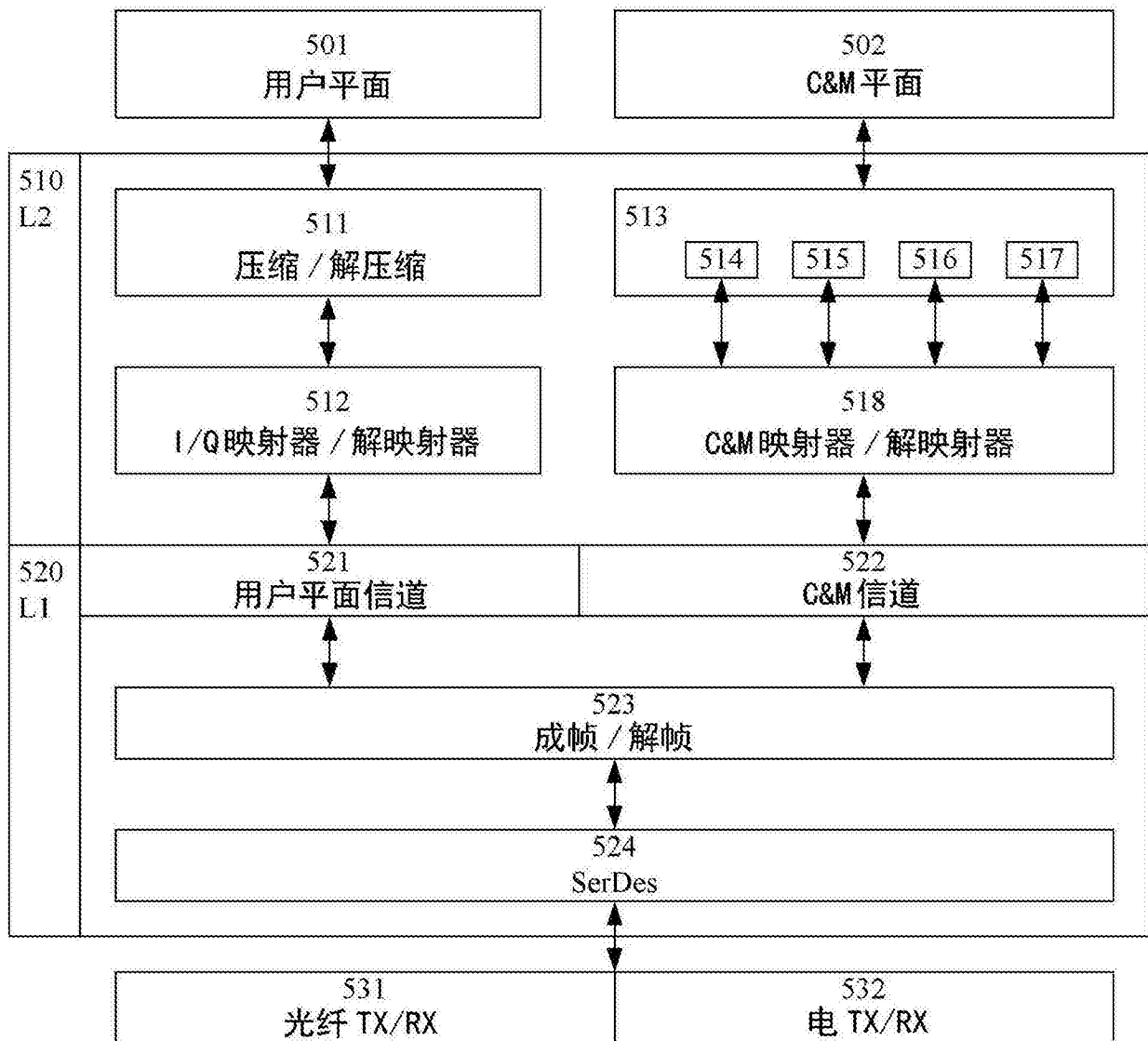


图 5

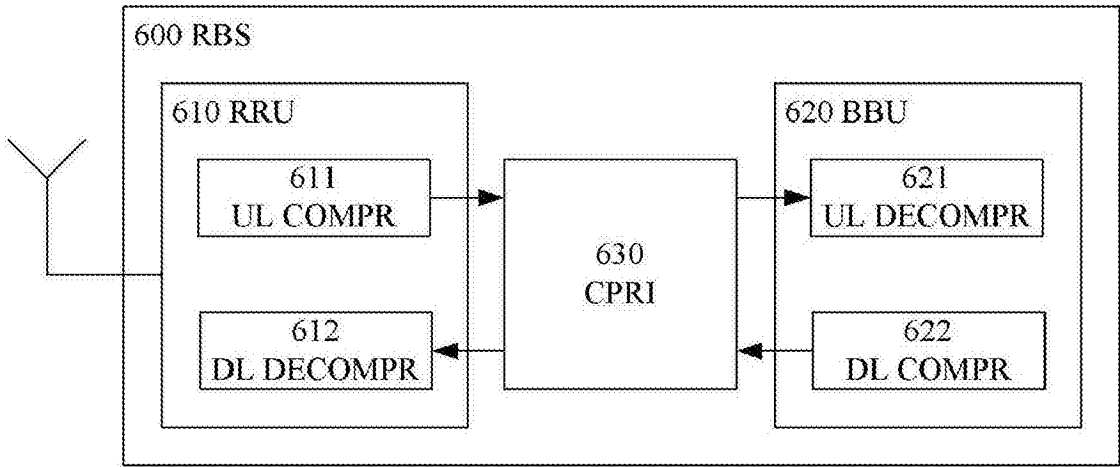


图 6

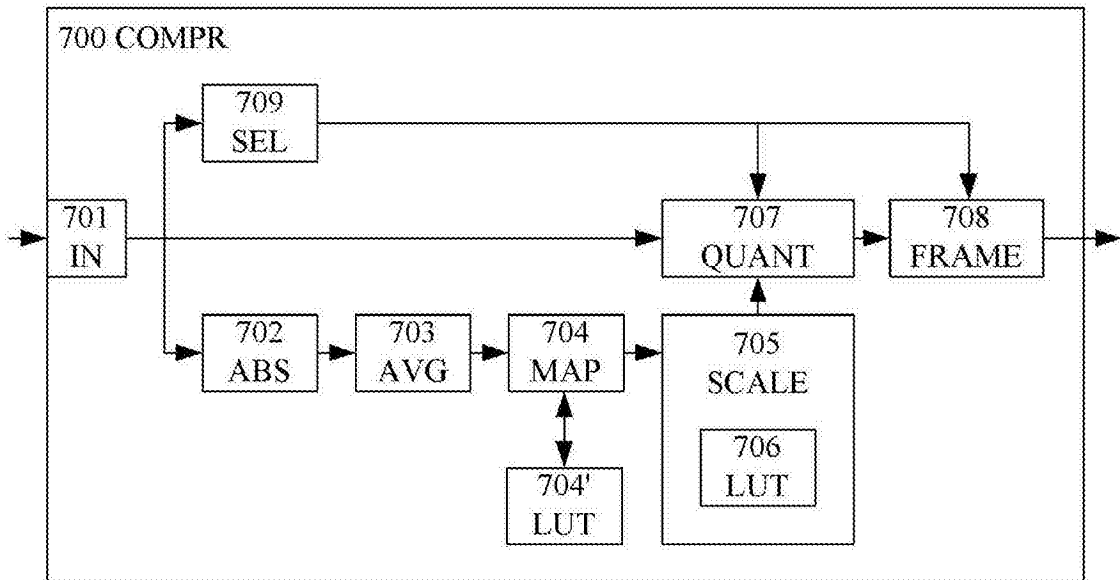


图 7

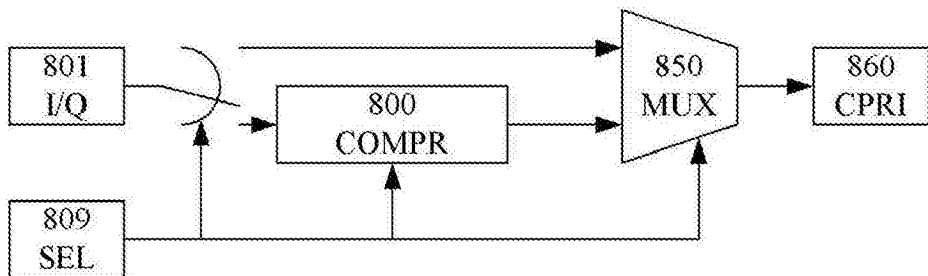


图 8

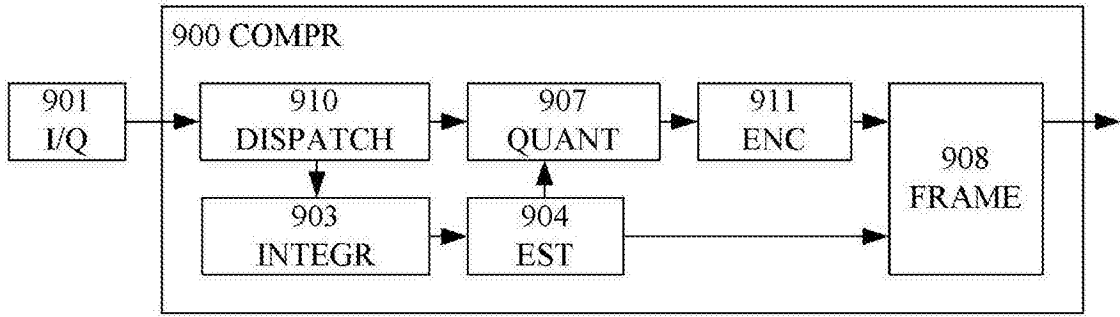


图 9

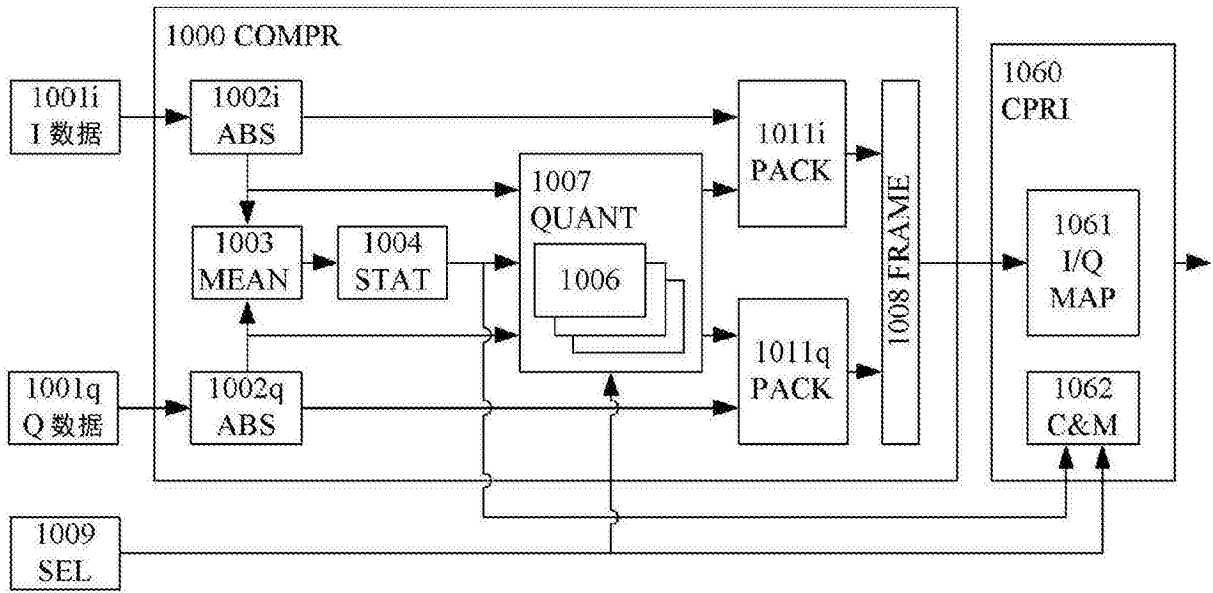


图 10

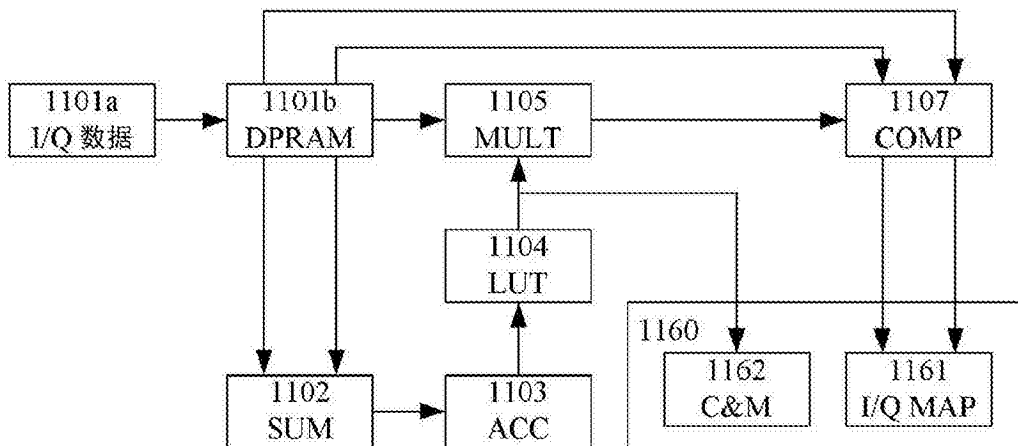


图 11

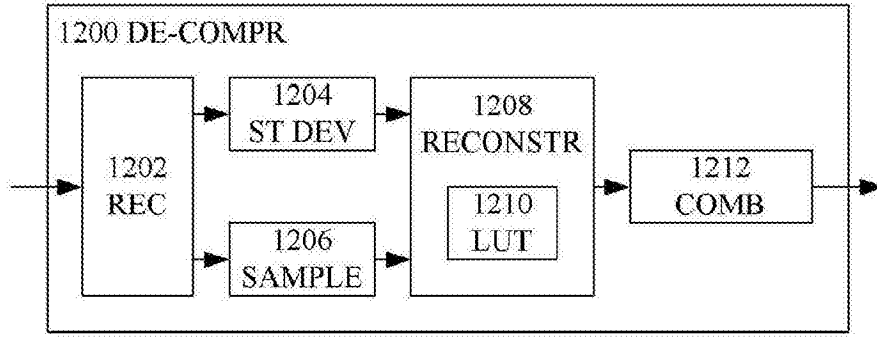


图 12

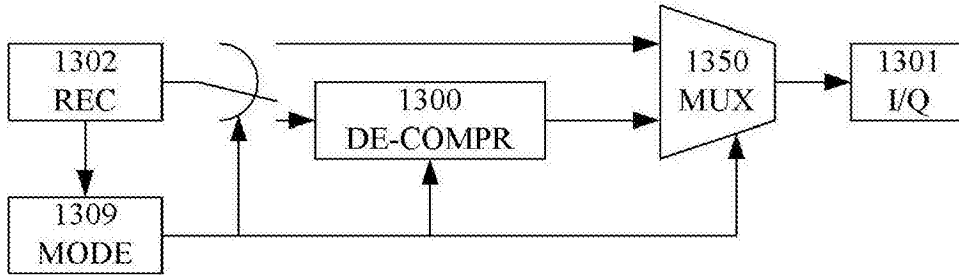


图 13

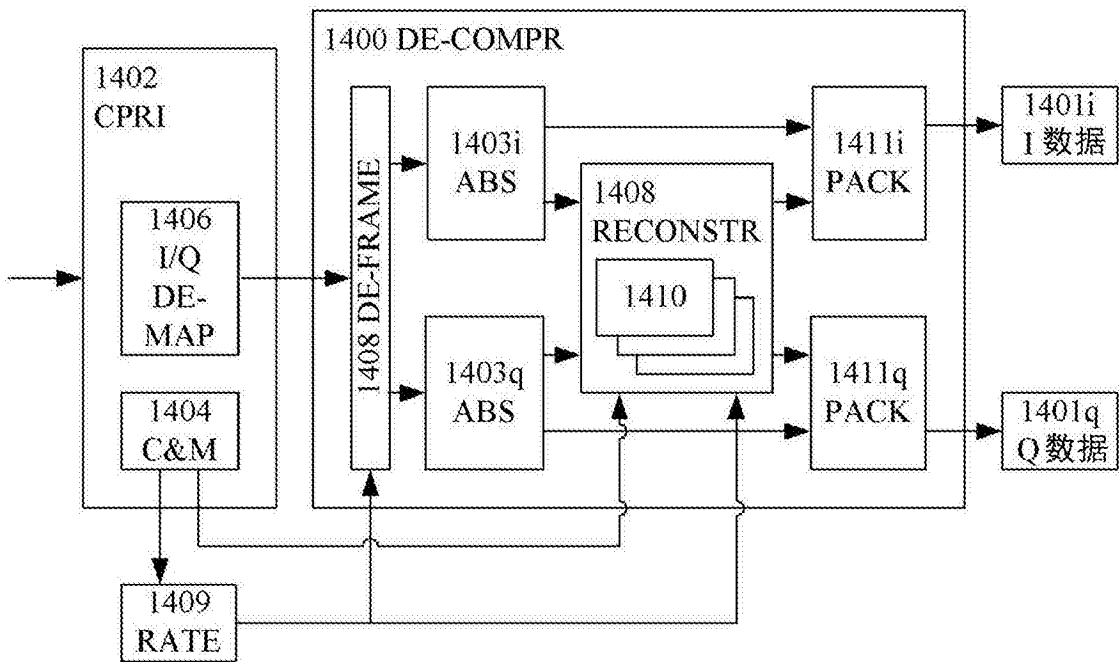


图 14

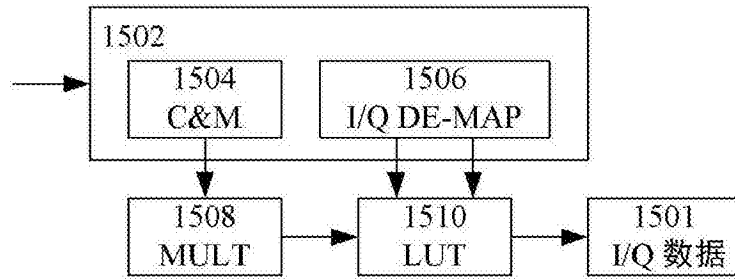


图 15

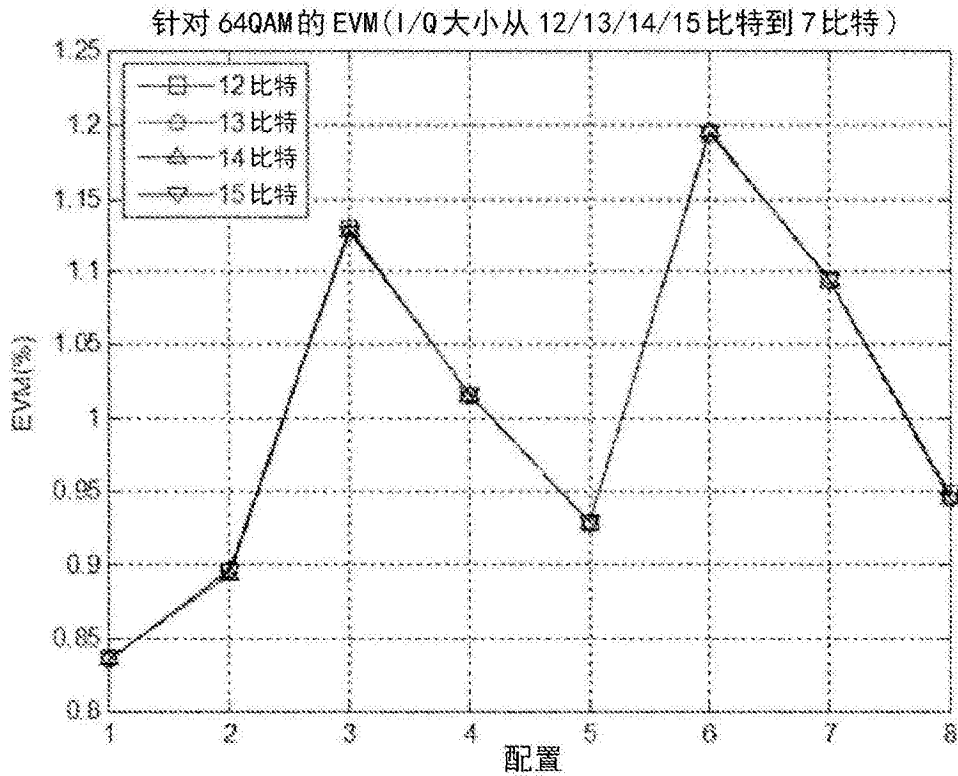


图 16

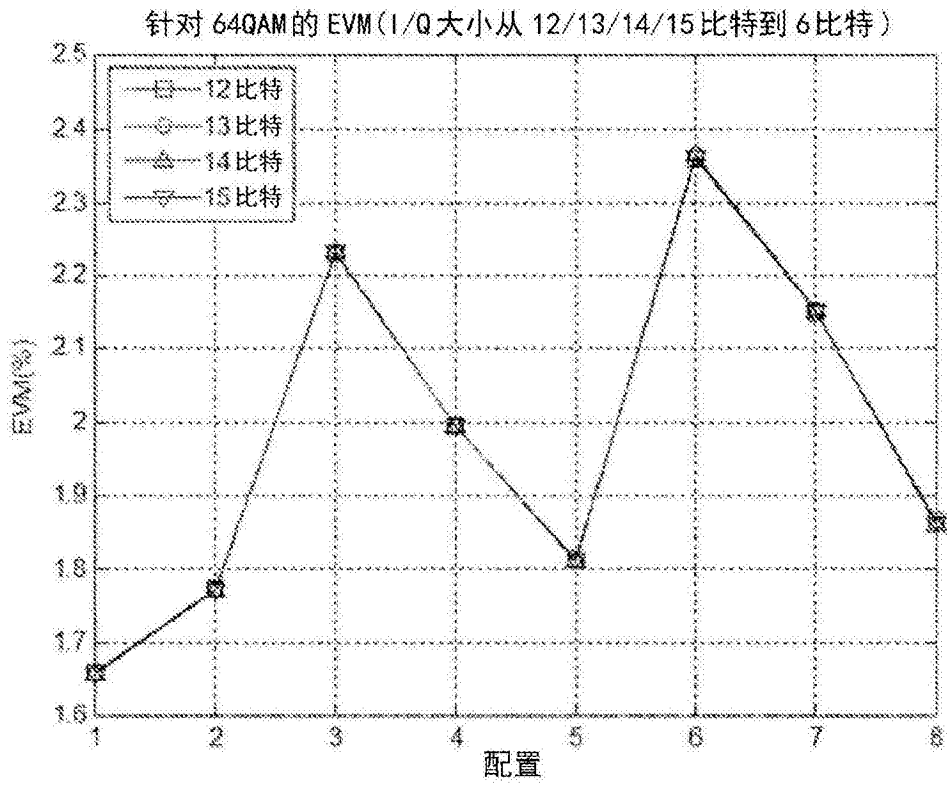


图 17