



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102013949 B

(45) 授权公告日 2013.08.21

(21) 申请号 201010593564.2

H04L 27/26(2006.01)

(22) 申请日 2002.11.20

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

09/991,039 2001.11.21 US

10/086,838 2002.02.28 US

W0 01/45300 A1, 2001.06.21, 参见对比文件
1 说明书第 13 页第 1-3 段、第 16 页第 1-3 段、第
18 页第 3 段, 图 4、5A、8.

US 6167031 A, 2000.12.26, 全文.

(62) 分案原申请数据

02827306.0 2002.11.20

审查员 王加新

(73) 专利权人 高通股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 T·卡多斯 A·贾拉里

I·J·弗南德兹科巴顿

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 袁逸

(51) Int. Cl.

H04L 1/00(2006.01)

H04L 1/18(2006.01)

H04L 25/02(2006.01)

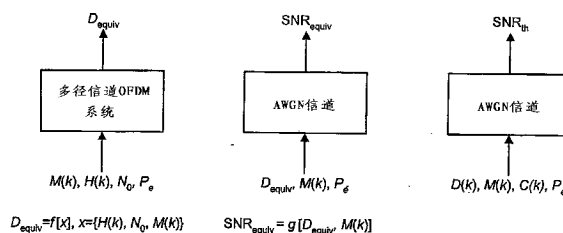
权利要求书2页 说明书14页 附图12页

(54) 发明名称

OFDM 系统的速率选择

(57) 摘要

基于等效(平坦)信道的度量确定可以在使用 OFDM 传输的给定多径(非平坦)信道上可靠传输的最大数据速率。对于给定的多径信道和特定速率(可以表示特定数据速率、调制方案及编码率),开始从等效数据速率和特定调制方案导出度量。然后确定使用特定调制方案和编码率可靠地发送特定数据速率所需的门限 SNR。如果度量大于或等于门限 SNR,则特定速率被视为受多径信道支持。增量传输被用于计及确定的数据速率中的差错。



1. 无线通信系统中的接收机单元,包括:

信道估计器,操作用于导出用于数据传输的通信信道的一个或多个特性的估计;

速率选择器,操作用于接收来自所述信道估计器的信道估计、以及指示所述数据传输的特定速率的参数集合,其中所述通信信道是频率选择性的,基于所述参数集合和一个或多个估计的信道特性导出等效信道的度量,确定所述等效信道支持所述数据传输的所述特定速率所需的门限信号质量,以及基于所述度量和所述门限信号质量来指示所述数据传输的所述特定速率是否受所述通信信道支持,其中所述数据传输的所述特定速率被选择来计及所述通信信道的频率选择性;以及

度量调节器,操作用于使用预定后退因子来调节所述度量,其中所述后退因子减小所述通信信道支持的所述数据传输的所述特定速率。

2. 如权利要求 1 所述的接收机单元,还包括:

解码器,操作用于为特定数据分组提供各个接收传输的状态;以及

控制器,操作用于提供包括所述特定速率、以及分组状态的指示的反馈信息。

3. 如权利要求 1 所述的接收机单元,其中所述后退因子设计成使分组差错率(PER)最小化。

4. 如权利要求 1 所述的接收机单元,其中所述度量是信噪比(SNR)的函数。

5. 无线通信系统中的设备,包括:

用于导出用于数据传输的通信信道的一个或多个特性的估计的装置;

用于接收来自信道估计器的信道估计、以及指示所述数据传输的特定速率的参数集合的装置,其中所述通信信道是频率选择性的;

用于基于所述参数集合和一个或多个估计的信道特性导出等效信道的度量的装置;

用于确定所述等效信道支持所述数据传输的所述特定速率所需的门限信号质量的装置;

用于基于所述度量和所述门限信号质量来指示所述数据传输的所述特定速率是否受所述通信信道支持的装置,其中所述数据传输的所述特定速率被选择来计及所述通信信道的频率选择性;以及

用于使用预定后退因子来调节所述度量的装置,其中所述后退因子减小所述通信信道支持的所述数据传输的所述特定速率。

6. 如权利要求 5 所述的设备,还包括:

用于为特定数据分组提供各个接收传输的状态的装置;以及

用于提供包括所述特定速率、以及分组状态的指示的反馈信息的装置。

7. 如权利要求 5 所述设备,其中所述后退因子设计成使分组差错率(PER)最小化。

8. 如权利要求 5 所述的设备,其中所述度量是信噪比(SNR)的函数。

9. 无线通信系统中进行速率选择的方法,包括:

导出用于数据传输的通信信道的一个或多个特性的估计;

接收来自信道估计器的信道估计、以及指示所述数据传输的特定速率的参数集合,其中所述通信信道是频率选择性的;

基于所述参数集合和一个或多个估计的信道特性导出等效信道的度量;

确定所述等效信道支持所述数据传输的所述特定速率所需的门限信号质量,

基于所述度量和所述门限信号质量来指示所述数据传输的所述特定速率是否受所述通信信道支持,其中所述数据传输的所述特定速率被选择来计及所述通信信道的频率选择性;以及

使用预定后退因子来调节所述度量,其中所述后退因子减小所述通信信道支持的所述数据传输的所述特定速率。

10. 如权利要求 9 所述的方法,还包括:

为特定数据分组提供各个接收传输的状态;以及

提供包括所述特定速率、以及分组状态的指示的反馈信息。

11. 如权利要求 9 所述的方法,其中所述后退因子设计成使分组差错率(PER)最小化。

12. 如权利要求 9 所述的方法,其中所述度量是信噪比(SNR)的函数。

OFDM 系统的速率选择

[0001] 本申请是国际申请日为 2004 年 7 月 19 日、申请号为 02827306.0、发明名称为“OFDM 系统的速率选择”的 PCT 发明专利申请的分案申请。

[0002] 背景

[0003] 领域

[0004] 本发明一般涉及数据通信,尤其涉及为无线(如 OFDM)通信系统选择速率的技术。

[0005] 背景

[0006] 无线通信系统被广泛使用,以提供各类通信,如语音、数据等等。这些系统可以实现正交频分复用(OFDM)调制,此调制能够为一些信道环境提供高性能。在一 OFDM 系统中,系统带宽被有效地划分成几个(NF)频率子信道(可以被称为子频带或频率区段)。每个频率子信道与各自的子载波(或频率音调)相关,其中数据可以在子载波上被调制。一般,将被发送的数据(即,信息比特)使用特定编码方案被编码,以产生编码比特,然后这些编码比特可以进一步被分组成多比特的码元,这些码元接着基于特定的调制方案(如,M-PSK 或 M-QAM)被映射到调制码元。在取决于每个频率子信道的带宽的每个时间间隔上,调制码元可以在每个 NF 频率子信道上被发送。

[0007] OFDM 系统的频率子信道可以经历不同的信道条件(如,不同的衰落和多径效应),而且可以达到不同的信号对噪声加干扰比(SNR)。每个被发送的调制码元在该码元被发送的特定频率子信道上受通信信道的频率响应的影响。根据通信信道的多径特性,频率响应可以在整个系统带宽上广泛地变化。从而,共同形成特定数据分组的调制码元可以各自通过 NF 频率子信道被接收,具有大范围的 SNR,并且 SNR 将在整个分组上相应地变化。

[0008] 对于具有非平坦或恒定的频率响应的多径信道,在每个频率子信道上被可靠发送的每调制码元信息比特数(即,数据率或信息率)可以在子信道之间不同。而且,信道条件一般随时间变化。从而,频率子信道支持的数据速率也随时间变化。

[0009] 因为给定接收机经历的信道条件一般先验未知,所以以相同的发送功率和/或数据率将数据发送至所有接收机是不现实的。固定这些传输参数很可能将导致发送功率的浪费、对于一些接收机的次优数据速率的使用以及对于一些其他接收机的非可靠通信,它们都导致系统性能的不良下降。对于不同接收机,通信信道的不同传输容量加上这些信道的时变和多径特性使得在 OFDM 系统内有效编码和调制传输数据困难。

[0010] 因此,本领域内需要用于在具有上述信道特性的无线(如 OFDM)通信系统内为数据传输选择适当速率的技术。

[0011] 附图的简要描述

[0012] 通过下面提出的结合附图的详细描述,本发明的特征、性质和优点将变得更加明显,附图中相同的符号具有相同的标识,其中:

[0013] 图 1A 是 OFDM 通信系统的简化模型的图表;

[0014] 图 1B 是图示为使用等效信道的多径信道选择速率的图表;

[0015] 图 2 是基于度量 ψ 选择 OFDM 系统中使用的数据速率的过程的实施例流程图;

[0016] 图 3 是发射机和接收机系统的实施例框图,发射机和接收机能实现本发明的各个

方面和实施例。

[0017] 图 4 是发射机单元的实施例框图。

[0018] 图 5 是接收机单元的实施例框图。

[0019] 图 6 是受限容量速率自适应算法的流程图。

[0020] 图 7A-7D 是改进的 CCRA (M-CCRA) 算法的流程图 ; 以及

[0021] 图 8 是 CCRA 算法的性能与理想速率选择的图形比较。

[0022] 优选实施例的详细描述

[0023] 这里所揭示的用于确定和选择数据传输速率的技术可以用于各种包括一个或多个独立传输信道的无线通信系统中, 如多输入多输出 (MIMO) 系统。为了说明清楚, 本发明的各个方面和实施例被描述为专用于正交频分复用 (OFDM) 系统, 其中独立的传输信道是通过划分整个系统带宽而形成的频率子信道或区段。

[0024] 图 1A 是 OFDM 系统的简化模型的图表。在发射机 110 处, 话务数据以特定数据速率从数据源 112 被提供至编码器 / 调制器 114, 114 根据一个或多个编码方案编码数据, 并且根据一个或多个调制方案进一步调制数据。可以通过对编码比特集合分组以形成多比特码元和将每个多比特码元映射到信号星座图上的一点而达到解调, 信号星座图对应于为用于发送调制码元的每个频率子信道所选的特定调制方案 (如 QPSK、M-PSK 或 M-QAM)。每个映射的信号点对应于一调制码元。

[0025] 在一实施例中, 数据速率通过数据速率控制被确定, 编码方案通过编码控制被确定, 调制方案通过调制控制被确定, 它们两者由控制器 130 基于从接收机 150 接收的反馈信息提供。

[0026] 导频也可以被发送至接收机以协助接收机执行几个功能如信道估计、捕获、频率和定时同步、相干数据解调等等。这样, 导频数据被提供给编码器 / 解码器 114, 114 再多路复用和处理导频数据和话务数据。

[0027] 对于 OFDM, 接着通过付里叶反变换 (IFFT) 116 将调制数据 (即, 调制码元) 变换到时域以提供 OFDM 码元, 每个 OFDM 码元对应于 N_F 个调制码元的一向量的时间表示, 在传输码元周期内此 N_F 个调制码元将在 N_F 个频率子信道上被发送。与单载波“时间编码”系统不同, OFDM 系统通过在时域发送表示话务数据的调制码元的 IFFT, 而“在频域”有效地发送调制码元。OFDM 码元还进一步被处理 (为了简图 1A 中未示出), 以产生调制信号, 然后此调制信号通过无线通信信道被发送至接收机。如图 1A 中所示, 通信信道具有 $H(f)$ 的频率响应, 还以 $n(t)$ 的加性高斯白噪声 (AWGN) 降级调制信号。

[0028] 在接收机 150 处, 发送的调制信号被接收、调节、以及数字化, 以提供数据采样。然后快速付里叶变换器 (FFT) 160 接收和变换该数据采样至频域, 经恢复的 OFDM 码元被提供至解调器 / 解码器 162 以及信道估计器 164。解调器 / 解码器 162 处理 (如解调和解码) 经恢复的 OFDM 码元, 以提供解码数据, 并且可以进一步提供每个接收分组的状态。信道估计器 164 处理经恢复的 OFDM 码元, 以提供通信信道的一个或多个特性的估计, 例如信道频率响应、信道噪声方差、接收码元的信号对噪声加干扰比 (SNR) 等等。

[0029] 速率选择器 166 从信道估计器 164 接收估计, 并且确定可用于数据传输可用频率子信道的全部或一个子集的适当“速率”。速率指示了一个参数集合的一个特定值集合。例如, 速率可以指示 (或可以相关于) 用于数据传输的特定数据速率、特定编码方案或编码

率、特定调制方案等等。

[0030] 控制器 170 从速率选择器 166 接收速率,从解调器 / 解码器 162 接收分组状态,并且提供适当的反馈信息以被发送回到发射机 110。此反馈信息可以包括速率、信道估计器 164 提供的信道估计、每个接收分组的确认 (ACK) 或否定确认 (NACK)、一些其他信息或它们的任意组合。通过调节发射机处的数据处理该反馈信息被用于增加系统效率,从而以通信信道可以支持的功率和速率的最佳已知设置实现数据传输。接着,反馈信息被返回到发射机 110,并用于调整至接收机 150 的数据传输的处理 (如,数据速率、编码和调制)。

[0031] 在图 1A 所示的实施例中,速率选择由接收机 150 实现,选择的速率被提供至发射机 110。在其他实施例中,速率选择可以由发射机基于接收机提供的反馈信息来实现,或者可以由发射机和接收机联合实现。

[0032] 在适当的条件下,FFT160 的输出处的经恢复的 OFDM 码元可以表示为:

[0033] $\hat{Y}(k) = Y(k)H(k) + N(k)$, 公式 (1)

[0034] 其中 k 是 OFDM 系统的频率子信道的索引,即 $k = 0, 1, \dots, N_F - 1$, 其中 N_F 是频率子信道的个数;

[0035] $Y(k)$ 是第 k 个频率子信道上发送的调制码元,它们基于用于第 k 个频率子信道的特定调制方案被导出。

[0036] $H(k)$ 是对每个频率子信道以“量化”形式表示的通信信道的频率响应。

[0037] $N(k)$ 表示时域噪声的 N_F 个采样的一序列的 FFT,即 $\text{FFT}\{n(kT)\}$, $k = 0, 1, \dots, N_F - 1$; 以及 T 是采样周期。

[0038] 在单载波系统中,发送码元可以全部以大致相同的 SNR 在接收机被接收。“恒定 SNR”分组的 SNR 和此分组的差错概率之间的关系在本领域内是公知的。作为近似,具有特定达到的 SNR 的单载波系统支持的最大数据速率可以被估计为具有同样 SNR 的 AWGN 信道支持的最大数据速率。AWGN 信道的主要特性是它的频率响应在整个系统带宽上平坦或恒定。

[0039] 然而,在 OFDM 系统中,组成分组的调制码元在多个频率子信道上被发送。根据用于发送分组的频率子信道的频率响应,SNR 可以在整个分组上变化。“变化 SNR”分组的问题随着系统带宽增加和用于多径环境而被恶化。

[0040] OFDM 系统的主要难点是接着确定可用于数据传输的最大数据速率,同时达到特定性能标准,性能标准可以用特定分组差错率 (PER)、帧差错率 (FER)、比特差错率 (BER)、或者一些其它准则来定量表示。例如,期望的性能标准可以通过在特定的标称值 (如 $P_e = 1\%$) 附近的小窗内维持 PER 来达到。

[0041] 在一般通信系统中,一特定和离散数据速率的集合可被定义,只有这些数据速率可用。每个数据速率 $D(r)$ 可以与特定调制方案或星座图 $M(r)$ 以及特定编码率 $C(r)$ 有关。每个数据速率经进一步要求特定 SNR(r),此特定 SNR(r) 是最小 SNR,在此 SNR 上以上述数据速率传输数据导致的 PER 小于等于期望的 PER, P_e 。此 SNR(r) 假定通信信道使 AWGN (即,在整个系统带宽上具有平坦的频率响应或对于所有的 k , $H(k) = H$)。一般,发射机和接收机之间的通信信道不是 AWGN,而是色散的或频率选择性的 (即,系统带宽的不同子信道上衰减量不同)。对于这样的多径信道,将用于数据传输的特定数据速率可以被选择来计及信道的多径或频率选择特性。

[0042] 从而,每个数据速率 $D(r)$ 与表征它的一参数集合相关。这些参数可以包括调制方案 $M(r)$ 、编码率 $C(r)$ 、以及期望的 $SNR(r)$,如下:

[0043] $D(r) \leftrightarrow [M(r), C(r), SNR(r)]$, 公式 (2)

[0044] 其中 r 是数据速率的索引,即 $r = 0, 1, \dots, N_R-1$, N_R 是可用数据速率的总数。等式 (2) 表示数据速率 $D(r)$ 可以使用调制方案 $M(r)$ 和编码率 $C(r)$ 被发送,还进一步要求 AWGN 信道中的 $SNR(r)$ 以达到期望的标称 PER, P_e 。 N_R 数据速率可以被排序如下: $D(1) < D(2) \dots < D(N_R-1)$ 。

[0045] 根据本发明的一方面,基于等效 AWGN 信道的度量确定在 OFDM 系统中给定的多径信道上可以被可靠发送的最大数据速率。如果数据传输维持期望的 PER, P_e , 则达到可靠传输。下面详细描述此方面。

[0046] 图 1B 是图示为使用等效信道的多径信道选择数据的图表。对于信道响应 $H(k)$ 和噪声 N_0 方差所定义的给定多径信道, OFDM 系统能够使用调制方案 $M(k)$ 达到等效的数据速率 D_{equiv} , 其中对于不同的频率子信道 $M(k)$ 可以不同。此 D_{equiv} 可以基于特定信道容量函数 $f[H(k), N_0, M(k)]$ 被估计, 描述见下。因为每个独立频率子信道的带宽被归一化为 1, 所以看上去不是函数 $f[\cdot]$ 的自变量。可以在所需 P_e 的 PER 处使用调制方案 $M(k)$ 导出度量, 然后再进一步基于也在下面描述的函数 $g(D_{equiv}, m)$, 其中度量是 SNR, SNR_{equiv} 的估计, 而 SNR_{equiv} 是等效 AWGN 信道以期望的 PER, P_e 使用调制方案 $M(k)$ 、以同样的数据速率 D_{equiv} 发送所要求的。

[0047] 对于数据速率 $D(k)$ 、调制方案 $M(k)$ 以及编码率 $C(k)$, AWGN 信道将需要 SNR, SNR_{th} , 或最好达到期望的 PER, P_e 。门限 SNR_{th} 可以通过计算机仿真或一些其他装置确定。如果此度量 (或 SNR_{equiv}) 等于或大于 SNR_{th} , 则数据速率 $D(k)$ 然后可以被视为受多径信道的 OFDM 系统。随着数据速率 $D(k)$ 增加, 对于 $H(k)$ 和 N_0 定义的给定信道条件门限 SNR_{th} 增加。从而, OFDM 系统可以支持的最大数据速率受信道条件限制。各个方案在这里被提供以确定对于给定多径信道 OFDM 系统可以支持的最大数据速率。这些方案中的一些将在下面描述。

[0048] 在第一个速率选择方案, 度量 Ψ 接收 OFDM 系统中给定多径信道上的数据传输的参数集合, 并且基于接收的参数提供与多径信道等效的 AWGN 信道的 SNR 估计。这些至度量 Ψ 的输入参数可以包括关于处理数据传输 (如, 调制方案 $M(k)$) 的一个或多个参数以及关于通信信道 (如, 信道响应 $H(k)$ 和噪声方差 N_0) 的一个或多个参数。如上面提到的, 调制方案 $M(k)$ 可以与特定数据速率 $D(k)$ 相关。度量 Ψ 是等效 AWGN 信道的 SNR 的估计 (即, $\Psi \approx SNR_{equiv}$)。然后多径信道支持的最大数据速率可以被确定为与等效 SNR 相关的最高数据速率, 此等效 SNR 大于或等于 AWGN 信道上使用与数据速率相关的编码和调制方案达到期望的 PER, P_e 所需要的门限 SNR, SNR_{th} 。

[0049] 各种函数可以用于度量 Ψ , 下面提供它们中的一些。在一实施例中, 度量 Ψ 被定义为:

$$[0050] \quad \Psi = g\left\{\left(\sum_{k=0}^{N_f-1} f[H(k), N_0, M]\right), M\right\} \text{ 公式 (3)}$$

[0051] 在等式 (3) 中, 函数 $f[H(k), N_0, M(k)]$ 确定最大数据速率, 调制方案 M 能在频率响应 $H(k)$ 以及噪声方差 N_0 的第 k 个频率子信道上实施此速率。可以基于各种信道容量函数将函数 $f[H(k), N_0, M(k)]$ 定义如下。

[0052] 参数 $H(k)$ 和 N_0 可以被映射至 $\text{SNR}(k)$ 。如果系统的总发送功率 P_{total} 是固定的且至 N_F 个频率子信道的发送功率分配是均匀的且固定的, 然后每个频率子信道的 SNR 可以被表达为:

$$[0053] \quad \text{SNR}(k) = \frac{P_{\text{total}}}{N_F} \frac{|H(k)|^2}{N_0} \text{公式 (4)}$$

[0054] 如等式 (4) 所示, $\text{SNR}(k)$ 是信道响应 $H(k)$ 和噪声方差 N_0 的函数, 它们是函数 $f[H(k), N_0, M(k)]$ 的两个参数。

[0055] 等式 (3) 中的求和在所有 N_F 个频率子信道上对 $f[\cdot]$ 执行, 以提供可以在 AWGN 信道上被发送的相等的数据速率 D_{equiv} 。然后函数 $g(D_{\text{equiv}}, M)$ 确定 AWGN 信道中使用调制方案 M 以相等的数据速率 D_{equiv} 可靠发送所需的 SNR 。

[0056] 等式 (3) 假定相同调制方案被用于 OFDM 系统中的所有 N_F 个频率子信道。此限制导致在 OFDM 系统中发射机和接收机处的简化处理, 但是要牺牲性能。

[0057] 如果不同调制方案可以用于不同频率子信道, 则度量 Ψ 可被定义为:

$$[0058] \quad \Psi = \sum_{k=0}^{N_F-1} g(f[H(k), N_0, M(k)], M(k)) \text{公式 (5)}$$

[0059] 如等式 (5) 中所示, 调制方案 $M(k)$ 是频率子信道的索引 k 的函数。对不同频率子信道使用不同调制方案和 / 或编码速率也称为“比特装载”。

[0060] 函数 $f[x]$ 确定数据速率, 对于共同表示为 x 的参数集合此速率可以在 AWGN 信道上被可靠发送, 其中 x 可以是频率 (即 $x(k)$) 的函数。在等式 (5) 中, 函数 $f[H(k), N_0, M(k)]$ (其中 $x(k) = f[H(k), N_0, M(k)]$) 确定数据速率, 调制方案 M 能在频率响应 $H(k)$ 以及噪声方差 N_0 的第 k 个频率子信道上实施此速率。接着函数 $g(f[x(k)], M(k))$ 确定等效 AWGN 信道传输由 $f[x(k)]$ 确定的数据速率中需要的 SNR 。然后等式 (5) 中的求和在所有 N_F 个频率子信道上对 $g(f[x(k)], M(k))$ 执行, 以提供等效 AWGN 信道的 SNR 的估计 $\text{SNR}_{\text{equiv}}$ 。

[0061] 函数 $f[x]$ 可以基于各种信道容量函数或一些其他函数或技术而被定义。系统的绝对容量一般被给定为理论的最大速率, 对于频率响应 $H(k)$ 以及噪声方差 N_0 此速率可以被可靠发送。系统的“受限”容量取决于用于数据传输的特定调制方案或星座图 $M(k)$, 并且低于绝对容量。

[0062] 在一实施例中, 函数 $f[H(k), N_0, M(k)]$ 基于受限信道容量函数而被定义, 可以表示为:

$$[0063] \quad f(k) = M_k - \frac{1}{2^{M_k}} \sum_{i=1}^{2^{M_k}} E \left[\log_2 \sum_{j=1}^{2^{M_k}} \exp(-\text{SNR}(k)(|a_i - a_j|^2 + 2 \text{Re}\{x^*(a_i - a_j)\})) \right]$$

[0064] 公式 (6)

[0065] 其中 M_k 相关于调制方案 $M(k)$, 即调制方案 $M(k)$ 对应于 2^{M_k} 元星座图 (如, 2^{M_k} 元 QAM), 其中星座图中 2^{M_k} 个点的每个都由 M_k 个比特标识;

[0066] a_i 和 a_j 是 2^{M_k} 元星座图中的点;

[0067] x 是均值为零、方差为 $1/\text{SNR}(k)$ 的复高斯随机变量; 以及

[0068] $E[\cdot]$ 是期望操作, 在等式 (6) 中对变量 x 进行。

[0069] 等式 (6) 中使出的受限信道容量函数不具有近似形式的解。从而, 对于各种调制方案和 SNR 值可以数字地导出此函数, 其结果可存储在一个或多个表中。其后, 通过访问具

有特定的调制方案和 SNR 的适当表格而估计函数 $f[x]$ 。

[0070] 在另一个实施例中,基于香农(或理论的)信道容量函数定义函数 $f[x]$ 并且可以表示为:

$$[0071] \quad f(k) = \log_2[1+\text{SNR}(k)] \quad \text{公式 (7)}$$

[0072] 其中 W 是系统带宽。如等式 (7) 中所示,香农信道容量不受给定调制方案限制(即 $M(k)$ 不是等式 (7) 中的参数)。

[0073] 对用于 $f[x]$ 的特定函数选择可以取决于各个因子,如 OFDM 系统设计。对于使用一个或多个特定调制方案的一般系统,已经发现当与等式 (6) 中所示的函数 $f[x]$ 的受限信道容量结合使用时,如等式 (3) 示出所定义的度量 Ψ 是 OFDM 系统对于 AWGN 信道以及多径信道的最大支持速率的精确估计。

[0074] 函数 $g(f[x], M(k))$ 确定 AWGN 信道中支持相同数据速率需要的 SNR,此数据速率由函数 $f[x]$ 使用调制方案 $M(k)$ 确定。在一实施例中,函数 $g(f[x], M(k))$ 被定义为:

$$[0075] \quad g(f[x], M(k)) = f[x]^{-1} \quad \text{公式 (8)}$$

[0076] 因为函数 $f[x]$ 取决于调制方案 $M(k)$,函数 $g(f[x], M(k))$ 也取决于调制方案。在一实现中,对于每个可被选择使用且可被存储到各个表格的调制方案导出函数 $f[x]^{-1}$ 。然后对于给定 $f[x]$ 的值,可以通过访问调制方案 $M(k)$ 的特定表格而估计函数 $g(f[x], M(k))$ 。也可以使用其他函数定义或使用其他装置导出函数 $g(f[x], M(k))$,并且在本发明的范围内。

[0077] 图 2 是基于度量 Ψ 的 OFDM 系统中选择使用的数据速率的过程 200 的实施例流程图。开始,可用数据速率(即,OFDM 系统支持的数据速率)被排序为: $D(1) < D(2) \dots < D(N_R-1)$ 。接着在步骤 212,最高可用数据速率被选择(如,通过设置随最高速率的索引而变化的速率,即 $\text{rate} = N_R-1$)。然后在步骤 214,与所选数据速率 $D(\text{rate})$ 相关的各种参数,例如调制方案 $M(\text{rate})$,被确定。根据 OFDM 系统的设计,每个数据速率可以与一个或多个调制方案相关。接着可以基于下面的步骤估计所选数据速率的每个调制方案。为了简明,下面假定只有一个调制方案与每个数据速率相关。

[0078] 然后在步骤 216,对于与所选数据速率 $D(\text{rate})$ 相关的特定调制方案 $M(\text{rate})$ 估计度量 Ψ 。这可以通过估计度量 Ψ 的函数来达到,如等式 (3) 中所示:

$$[0079] \quad \Psi = g\left\{\left[\sum_{k=0}^{N_T-1} f[H(k), N_0, M(\text{rate})]\right], M(\text{rate})\right\} \quad \text{公式 (9)}$$

[0080] 度量 Ψ 表示在等效 AWGN 信道中使用调制方案 $M(\text{rate})$ 可靠发送等效数据速率所需的 SNR 的估计。

[0081] 接着在步骤 218,AWGN 信道中以期望的 PER, P_e 发送所选数据速率 $D(\text{rate})$ 所需的门限 SNR, $\text{SNR}_{th}(\text{rate})$ 被确定。门限 $\text{SNR}_{th}(\text{rate})$ 是与所选数据速率相关的调制方案 $M(\text{rate})$ 和编码率 $C(\text{rate})$ 的函数。可以通过计算机仿真或其他一些装置确定门限 SNR,并且可以被存储以备后用。

[0082] 然后在步骤 220,确定是否度量 Ψ 大于或等于与所选数据速率相关的门限 $\text{SNR}_{th}(\text{rate})$ 。如果度量 Ψ 大于或等于 $\text{SNR}_{th}(\text{rate})$, $\text{SNR}_{th}(\text{rate})$ 表示多径信道中数据速率 $D(\text{rate})$ 的 OFDM 系统达到的 SNR 足够达到期望的 PER, P_e ,则在步骤 224 中数据速率被选择使用。否则在步骤 222,下一个较低的可用数据速率被选择用于估计(如,通过将可变速率减 1,即 $\text{rate} = \text{rate}-1$)。接着通过返回步骤 214 估计一个较低数据速率。按照需要步骤

214 到 222 可以被重复,直到步骤 222 中最大支持数据速率被标识且提供。

[0083] 度量 ψ 是数据速率的单调函数,并且随着数据速率增加而增加。门限 SNR 也是随数据速率增加而增加的单调函数。图 2 中示出的实施例一次一个地估计可用的数据速率,从最大可用数据速率到最小可用数据速率。最高数据速率与门限 SNR, $\text{SNR}_{\text{th}}(\text{rate})$ 相关,此 SNR 小于或等于选择使用的度量 ψ 。

[0084] 在另一个实施例中,对于特定调制方案 $M(r)$ 可以估计度量 ψ 以导出等效 AWGN 信道的 SNR 估计, $\text{SNR}_{\text{equiv}}(r)$ 。然后确定(如,通过查找表)对于期望的 PER 使用调制方案 $M(r)$ 以此等效 SNR 的 AWGN 信道支持的最大数据速率 $D_{\text{max}}(r)$ 。接着,在 OFDM 系统中用于多径信道的实际数据速率可以被选择小于或等于 AWGN 信道支持的最大数据速率 $D_{\text{max}}(r)$ 。

[0085] 在第二个速率选择方案中,度量 ψ 被定义为对于多径信道由单载波系统在均衡后达到的后检测 SNR。后检测 SNR 表示接收机处均衡后整个信号功率对噪声加干扰的比。具有均衡的单载波系统中达到的后检测 SNR 的理论值可以指示 OFDM 系统的性能,因此可以被用于确定 OFDM 系统中的最大支持数据速率。各种类型的均衡器可以被用于处理单载波系统中的接收信号,以补偿接收信号中多径信道引入的失真。这样的均衡器可以包括例如,最小均方差线性均衡器(MMSE-LE),判决反馈均衡器(DFE)以及其他。

[0086] (有限长度)MMSE-LE 的后检测 SNR 可以表示为:

$$[0087] \quad \text{SNR}_{\text{mmse-le}} = \frac{1 - J_{\min}}{J_{\min}}, \text{公式 (10a)}$$

[0088] 其中 $J_{\min}$ 给出为:

$$[0089] \quad J_{\min} = \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \frac{N_0}{X(e^{j\omega T}) + N_0} d\omega, \text{公式 (10b)}$$

[0090] 其中 $X(e^{j\omega T})$ 是信号转移函数 $H(f)$ 的折叠谱。

[0091] (有限长度)DFE 的后检测 SNR 可以表示为:

$$[0092] \quad \text{SNR}_{\text{dfe}} = \exp \left[\frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \ln \left(\frac{X(e^{j\omega T}) + N_0}{N_0} \right) d\omega \right] - 1 \text{公式 (11)}$$

[0093] 等式 (9) 和 (10) 中分别示出的 MMSE-LE 和 DFE 的后检测 SNR 表示理论值。在 J. G. Proakis 所著、标题为“Digital Communications”、McGraw 编辑、1995 年出版的第三版书中部分 10-2-2 和 10-3-2 中分别进一步详细描述了 MMSE-LE 和 DFE 的后判决 SNR, 上述部分通过引用被结合于此。

[0094] MMSE-LE 的后判决 SNR 可以在接收机基于所接收的信号被估计, 此方式被描述于专利申请号为 09/826, 481 和 09/956, 449、标题同为“Method and Apparatus for Utilizing Channel State Information in a Wireless Communication System”、分别提出于 2001 年 3 月 23 日和 2001 年 9 月 18 日的美国专利中, 以及专利申请号为 09/854, 235、标题为“Method and Apparatus for Processing Data in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System Utilizing Channel State Information”、提出于 2001 年 5 月 11 日的美国专利中, 这些申请被转让给本发明的授权人, 并且通过引用结合于此。

[0095] 对于多径信道可以确定后判决 SNR, 例如等式 (10) 和 (11) 中示出的分析表示所描

述的那些 SNR, 并将其用作度量 ψ 的估计 (即, $\psi \approx \text{SNR}_{\text{mse-le}}$ 或 $\psi \approx \text{SNR}_{\text{dfe}}$)。对于等效 AWGN 信道的后判决 SNR (如, $\text{SNR}_{\text{mse-le}}$ 或 SNR_{dfe}) 可以与对于特定参数集合 $D(r)$ 、 $M(r)$ 、 $C(r)$ 及 P_e 导出的门限 SNR, SNR_{th} 相比, 以确定对于多径信道 OFDM 系统中可用的数据速率。

[0096] 还可以基于一些其他函数定义度量 ψ , 而且可以基于其他的技术估计等效的数据速率, 并在本发明的范围内。

[0097] 基于度量 ψ 选择用于 OFDM 系统的数据速率表示对于期望的 PER, P_e 多径信道可以支持的数据速率的预测。对于任何速率预测方案, 不可避免地存在预测差错。为了确保达到期望的 PER, 预测误差可以被估计并且后退因子可以在确定多径信道可支持的数据速率中被使用。此后退减小了 OFDM 系统的吞吐量。因此, 期望尽可能地使后退小, 同时仍达到期望的 PER。

[0098] 根据本发明的另一方面, 增量传输 (IT) 方案被提供, 并且有利于与第一方面的速率选择相结合使用, 以降低后退量且改进系统吞吐量。IT 方案使用一个或多个离散传输发送给定分组, 一次一个传输直至特定限制。分组的第一个传输包括足够量的数据, 从而可以基于预期的信道条件在接收机处无差错地恢复分组。然而, 如果第一个传输被通信信道降级过量以至于没达到分组的无差错恢复, 则执行分组数据的附加量的增量传输。接着接收机尝试基于增量传输中的附加数据恢复分组, 以及所有先前接收的分组数据。发射机的增量传输和接收机的解码可以被尝试一次或多次, 直至分组被无差错地恢复, 或达到增量传输的最大数。

[0099] IT 方案的一实施例可以实现如下。首先, 使用比可以用于无任何增量传输的分组的编码率低的编码率 (对于前向差错校正码) 对分组数据编码。接着, 此分组的一些编码比特被截短, 而且只有所有编码比特的一个集合被发送用于此分组的第一个传输。如果此分组被正确接收, 则接收机可以返回到指示此分组被无差错接收的确认 (ACK)。或者, 如果接收机错误地接收此分组, 则它可以返回一否定确认 (NACK)。

[0100] 在任何一种情况下, 如果对于此分组发射机没有接收到确认或接收到否定确认, 则发射机发送增量分组至接收机。此增量分组可以包括在第一个传输中没有被发送的初始被截短的编码比特的一些。接着, 接收机通过使用第一个传输和第二个传输中的编码比特尝试解码此分组。来自第二个传输的附加编码比特提供更多的能量且改进了差错校正性能。一个或多个增量传输可以被执行, 一般一次一个, 直到此确认被接收或否定确认未被接收。

[0101] 如果系统使用增量传输, 则较小的后退可以被用于计及速率预测差错, 而且可选择更多的大速率。这可以提高系统吞吐量。

[0102] 与上述速率选择组合的增量传输也可以提供用于确定最大数据速率的有效机制, 此数据速率受固定的或慢变的通信信道支持。考虑固定接入的应用, 其中信道的多径特性缓慢地变化。这样, 可以基于上述技术选择初始的数据速率, 并且用于数据传输。如果此初始数据速率高于信道能支持的速率, 则 IT 方案能发送附加的编码比特, 直至此分组在接收机处能被正确解码。然后, 基于第一个传输和任何随后的增量传输中的编码比特总数确定信道能支持的最大数据速率。如果信道缓慢变化, 则确定的数据速率被使用, 直至信道改变, 那时新的数据速率被确定。

[0103] 从而增量传输提供数个优点。第一, 使用增量传输允许渐进的数据速率选择, 以增

加系统吞吐量。第二,增量传输提供用于补偿预测错误的装置,对于任何速率预测方案(预测错误的频率和幅度取决于使用的后退量)都会不可避免的产生此差错。第三,增量传输提供机制,以更精确地确定固定或慢变化信道的最大支持数据速率。

[0104] 图 3 是发射机系统 110a 和接收机系统 150a 的一实施例的框图,发射机系统 110a 和接收机系统 150a 能实现本发明的各个方面和实施例。

[0105] 在发射机系统 110a 处,话务数据以特定的数据速率从数据源 308 被提供至发射(TX) 数据处理器 310,数据处理器 310 根据特定的编码方案格式化、交织和编码话务数据,以提供编码数据。数据速率和编码及交织可以分别由控制器 330 提供的数据速率控制和编码控制来确定。

[0106] 然后,编码数据被提供至调制器 320,调制器 320 也可以接收导频数据(例如,已知模式的以及以已知方式被处理的数据,如果存在这样的数据)。导频数据可以与编码话务数据多路复用,如使用时分复用(TDM)或码分复用(CDM)在用于发送话务数据的频率子信道的全部或一个子集内多路复用。在一个特定实施例中,对于 OFDM 系统,调制器 320 处理包括(1)使用某种调制方案调制接收的数据,(2)变换调制数据以形成 OFDM 码元,以及(3)将循环前缀附在每个 OFDM 码元上以形成相应的传输码元。根据由控制器 330 提供的调制控制实现此调制。下面详细描述调制器 320 的处理。然后,调制数据(即传输码元)被提供至发射机(TMTR) 322。

[0107] 发射机 322 将调制数据转化为一个或多个模拟信号并且进一步调节(如,放大、滤波和正交调制)此模拟信号以产生适合在传输信道上传输的调制信号。接着,调制信号通过天线 324 被发送至接收机系统。

[0108] 在接收机系统 150a 处,发送的调制信号由天线 352 接收,并且被提供至接收机(RCVR) 354。接收机 354 调节(如,滤波、放大以及下变频)此接收信号并且数字化经调节的信号以提供数据采样。然后,解调器(Demod) 360 接收和处理数据采样以提供解调数据。对于 OFDM 系统,解调器 360 的处理可以包括:(1)移去每个经恢复的传输码元内的循环前缀,(2)变换每个经恢复的 OFDM 码元,以及(3)按照与发射机系统使用的一个或多个调制方案互补的一个或多个解调方案解调经恢复的调制码元。

[0109] 接着,接收(RX) 数据处理器 362 对解调数据解码,以恢复发送的话务数据。解调器 360 和 RX 数据处理器 362 的处理分别与发射机系统 110a 处的调制器 320 和 TX 数据处理器 310 的处理互补。

[0110] 如图 3 所示,解调器 360 可以导出信道响应 $\hat{H}(k)$ 的估计,并提供这些估计给控制器 370。RX 数据处理器 362 也可以导出并提供每个接收分组的状态并且可以进一步提供指示解码结果的一个或多个其他性能度量。基于从解调器 360 和 RX 数据处理器 362 的各种类型的信息,控制器 370 可以基于上述技术确定或选择用于数据传输的特定速率。以选择的速率形式的反馈信息、信道响应估计、接收分组的 ACK/NACK 等等可以由控制器 370 提供,由 TX 数据处理器 378 处理、由调制器 380 调制,以及由发射机 354 调节并且返回到发射机系统 110a。

[0111] 在发射机系统 110a 处,来自接收机系统 150a 的调制信号由天线 324 接收、由接收机 322 调节,并且由解调器 340 解调,以恢复由接收机系统发送的反馈信息。反馈信息接着被提供给控制器 330,并且被使用以控制至接收机系统的数据传输的处理。例如,数据传输

的数据速率可以基于接收机系统提供的所选速率被确定,或者可以基于来自接收机的信道响应估计被确定。与所选速率相关的特定编码和调制方案在编码和调制控制中被确定和反映,所述编码器控制被提供至 TX 数据处理器 310 和调制器 320。接收的 ACK/NACK 可以被用于初始化一增量传输(为了简明图 3 中未示出)。

[0112] 控制器 330 和 370 分别指引发射机系统和接收机系统处的操作。存储器 332 和 372 分别提供程序代码的存储和由控制器 330 和 370 所使用的数据。

[0113] 图 4 是发射机单元 400 的框图,此发射机单元是发射机系统 110a 的发射机部分的实施例。发射机单元 400 包括 (1) TX 数据处理器 310a,它接收和处理话务数据以提供编码数据以及 (2) 调制器 320a,它调制编码的数据以提供调制数据。TX 数据处理器 310a 和调制器 320a 分别是图 3 中 TX 数据处理器 310 和调制器 320 的一实施例。

[0114] 在图 4 示出的特定实施例中, TX 数据处理器 310a 包括编码器 412、信道交织器 414 以及截短器 416。编码器 412 按照一个或多个编码方案接收和编码话务数据,以提供编码比特。编码增加了数据传输的可靠性。每个编码方案可以包括下列编码的任何组合:循环冗余校验(CRC)、卷积编码、Turbo 编码、分组编码、以及其他编码或根本不编码。话务数据可以被划分成分组(或帧),然后每个分组可以被独立处理和发送。在一实施例中,对于每个帧,分组中的数据可以用于产生 CRC 比特的一个集合,此集合被附在数据上,然后这些数据和 CRC 比特被交织及使用卷积码或 Turbo 码编码以产生分组的编码数据。

[0115] 然后,信道交织器 414 基于特定的交织方案将编码比特交织以提供分集。交织为编码比特提供时间分集,允许数据基于用于数据传输的频率子信道的平均 SNR 被发送,对抗衰落,以及进一步除去用于形成每个调制码元的编码比特之间的相关性。如果编码比特在多个频率子信道上被发送,则此交织还可以提供频率分集。

[0116] 接着,截短器 413 截短(即,删除)零个或多个经交织的编码比特,而且提供期望数目的未截短的编码比特至解调器 320a。截短器 416 还进一步提供经截短的编码比特至缓冲器 418,如上所述,缓冲器 418 存储这些编码比特以备后面的增量传输需要。

[0117] 在图 4 示出的特定实施例中,调制器 320a 包括码元映射单元 422、IFFT424、以及一个循环前缀生成器 426。码元映射单元 422 将多路复用的导频数据和编码话务数据映射至用于数据传输的一个或多个频率子信道的调制码元。一个或多个调制方案可以被用于频率子信道,如调制控制所指示。对于选择使用的每个调制方案,此调制可以通过将接收比特的集合分组以形成多比特码元以及将每个多比特码元映射至对应于所选调制方案(如 QPSK、M-PSK、M-QAM 或一些其他方案)的单个星座图中的一个点而实现。每个映射的信号点对应于一调制码元。码元映射单元 422 接着提供每个传输码元周期的调制码元(直至 N_F 个)向量,每个向量中的调制码元数对应于选择用于那段传输码元周期的(直至 N_F 个)频率子信道数。

[0118] IFFT424 使用付里叶反变换器将每个调制码元向量转化为它的时域表示(称为 OFDM 码元)。IFFT424 可以被设计以在任何数目的频率子信道(如,8,16,32,..., N_F ,...)上实现 IFFT。在一实施例中,对于每个 OFDM 码元,循环前缀生成器 426 重复 OFDM 码元的一部分以形成相应的传输码元。循环前缀确保了传输码元在存在多径时延扩展时保持它的正交性,从而对抗有害的多径效果提高系统性能。来自循环前缀生成器 426 的传输码元接着被提供至发射机 322(见图 3),被处理以产生调制信号,然后此调制信号从天线 324 被发

送。

[0119] 发射机单元的其他设计也可以被实现并且在本发明的范围内。实现编码器 412、信道交织器 414、截短器 416、码元映射单元 422、IFFT424、以及循环前缀生成器 426 在本领域内公知，在这里没有详细描述。

[0120] 对 OFDM 和其他系统编码和调制被进一步详细描述于前面提到的专利号为 09/826, 481、09/956, 449 和 09/854, 235 的美国专利中，以及专利号为 09/776, 075、标题为“Coding Scheme for a Wireless Communication System”、提交于 2001 年 11 月 1 日的美国专利中，以及美国专利申请号为 09/993, 076、标题为“Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System”、发表于 2001 年 11 月 6 日的美国专利申请中，上述专利被转让给本发明的受让人，并且通过引用被结合于此。

[0121] 示例 OFDM 系统被描述于专利号为 09/532, 492、标题为“High Efficiency, High Performance Communication System Employing Multi-Carrier Modulation”、提交于 2000 年 3 月 30 日的美国专利中，该专利被转让给本发明的受让人，并且通过引用被结合于此。OFDM 还被描述于 John A. C. Bingham 所著、标题为“Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come”、1990 年 5 月的 IEEE Trans. Communications 中的论文，此论文通过引用被结合于此。

[0122] 图 5 是接收机单元 500 的实施例框图，此实施例是图 3 中接收机系统 150a 的接收机部分的一实施例。自发射机系统发送的信号由天线 352 (图 3) 接收并提供给接收机 354 (也称为前端处理器)。接收机 354 调节 (如滤波和放大) 接收信号，下变频经调解的信号至中频或基带，以及数字化下变频信号以提供数据采样，然后此数据采样被提供至调制器 360a。

[0123] 在解调器 360a (图 5) 内，数据采样被提供至循环前缀移去单元 510，此单元将每个传输码元内的循环前缀移去以提供相应的经恢复 OFDM 码元。接着，FFT512 使用快速付里叶变换以变换每个经恢复 OFDM 码元，提供每个传输码元周期的数据传输所用频率子信道 (直至 N_F 个) 的经恢复的 (直至 N_F 个) 调制码元向量。来自 FFT 处理器 512 的经恢复调制码元被提供至解调单元 514，按照与发射机系统处使用的调制方案互补的一个或多个解调方案被解调。接着，来自解调单元 516 的解调数据被提供至 RX 数据处理器 362a。

[0124] 在 RX 数据处理器 362a 内，由去交织器 522 以与发射机系统处实现互补的方式去交织解调数据，再由解码器 524 以与发射机系统处实现互补的方式解码此去交织的数据。例如，如果在发射机单元处分别实现 Turbo 或卷积编码，则 Turbo 解码器或 Viterbi 解码器可以用于解码器 524。来自解码器 524 的解码数据表示发送数据的估计。解码器 524 可以提供每个接收分组的状态 (如，正确或错误地被接收)。解码器 524 还可以为分组存储未正确解码的解调数据，从而此数据可以与自其后的增量传输的数据组合并解码。

[0125] 如图 5 中所示，信道估计器 516 可以被设计用于估计信道频率响应 $\hat{H}(k)$ 和噪声方差 $\hat{N}_0$ ，以及提供这些估计至控制器 370。可以基于导频码元的接收数据采样 (例如，基于来自导频码元的 FFT512 的 FFT 系数) 估计信道响应和噪声方差。

[0126] 控制器 370 可以被设计以实现速率选择和从增量传输的信令的各个方面和实施例。如上所述，对于速率选择，控制器 370 可以基于度量 ψ 确定可用于给定信道条件的最大数据速率。对于增量传输，控制器 370 可以为每个给定的分组的每个接收传输提供一 ACK

或 NACK, 如果分组在接收机系统处不能被正确恢复, 则所述给定分组可以在发射机系统处用于发送分组的附加部分。

[0127] 图 1A 到 3 示出了接收机将数据传输的速率发送回的简单设计。其他设计也可以被实现, 且在本发明的范围内。例如, 信道估计可以被发送至发射机 (而非速率), 然后基于接收的信道估计确定数据传输的速率。

[0128] 这里描述的速率选择和增量传输技术可以使用各种设计而被实现。例如, 图 5 中用于导出和提供信道估计的信道估计器 516 可以由接收机系统内的各种元件实现。确定速率的过程的一些或全部可以由控制器 370 执行 (如, 一个或多个查找表存储在存储器 372 中)。执行速率选择和增量传输的其他设计也可以被考虑, 并且在本发明的范围内。

[0129] 这里描述的速率选择和增量传输技术可以使用各种装置而被实现。例如, 这些技术可以用硬件、软件或它们的组合实现。对于硬件实现, 一些用于实现速率选择和 / 或增量传输的元件可以用一个或多个应用专用集成电路 (ASIC)、数字信号处理器 (DSP)、数字信号处理设备 (DSPD)、可编程逻辑器件 (PLD)、现场可编程门阵列 (FPGA)、处理器、控制器、微控制器、微处理器、或用于执行这里所述功能而被设计的其它电子器件的任意组合。

[0130] 对于软件实现, 速率选择和 / 或增量传输技术的一些部分可以使用实施这里描述的功能的模块 (如, 过程、功能等等) 被实现。软件代码可以存储在存储器单元中 (如图 3 的存储器 332 或 372) 而且由处理器 (如, 控制器 330 或 370) 执行。此存储器单元可以在处理器内或处理器外被实现, 在处理器外被实现的情况下通过多种本领域公知的方法被通信耦合到处理器。

[0131] 受限容量速率自适应 (CCRA) 算法

[0132] 在一可选实施例中, 用于上面提供的正交频分复用 (OFDM) 系统的速率自适应方案适合于实际环境, 其中算法调整理想情况以反映系统的已知实用性。注意, 为了理解清楚, 此算法又被详细提供了一次。这些扩展可以包括将方案用于实际实现的后退修正。使用后退机制在系统配置和其他系统考虑需要调整的情况下尤其重要。换言之, 在一系统内, 某些条件可以引起后退修正, 而其他的条件不会。后退机制旨在将信道模型调整至实际应用。后退是期望的情况包括, 但不限于: 1) 信道编码技术; 2) 不完全信道估计; 以及 / 或; 3) 频率和 / 或相位偏移不规则性。

[0133] 考虑按照上述多径衰落信道内具有 N 个子载波的一实施例的 OFDM 系统。此算法假定在所有子信道上的信道响应知识为 $\{h(k), k = 1, 2, \dots, N\}$, 接收机处的噪声方差为 N_0 。给定发射机支持的数据速率的集合 $R = \{r_p, p = 1, 2, \dots, P\}$, 每个发射机由调制方案 C_p 和码率 R_{c_p} 定义。也给定预定 PER 水平 (如 1%) 所需的 SNR 的对应集合 $S = \{s_p, p = 1, 2, \dots, P\}$ 。目标是为给定实现找出能支持的最大可到达速率 $r_{\max} \in R$ 。第一个算法在图 6 中被定义, 且称为受限容量速率自适应 (CCRA) 算法。

[0134] 根据一示例性实施例, CCRA 算法由过程 600 定义, 其中在步骤 602 初始化索引 p 。索引 p 对应于给定通信发射机中的可用编码速率, 给定为 $p = 1, 2, \dots, P$, 其中 P 是不同可用速率的总数。在步骤 602, 索引 p 被设定得等于 P , 其中 P 对应于数据速率的集合 R 的最高速率。在步骤 604, 此过程计算受限容量 x , 给定为:

$$[0135] \quad x = \sum_{k=1}^N f(h(k), N_0, C(r_p)) \quad \text{公式 (12)}$$

[0136] 其中 f 是受限容量函数, 而 $C(r_p)$ 是速率 r_p 时的星座图大小 (调制)。受限容量 x 的计算过程 650 在图 7B 中被说明, 其中在步骤 652 确定用于估计受限容量的函数 f 。然后, 在步骤 654 按照等式 (12) 计算受限容量 x 。 x 的值基于信道条件的均值。

[0137] 返回图 7A, 在步骤 606, 此过程计算 AWGN 信道中的等效 SNR, 表示为 ψ , 给定如下:

$$[0138] \quad \Psi = g(x) = f^{-1}(x) \quad \text{公式 (13)}$$

[0139] 其中 $g(x)$ 是 $f(x)$ 的反函数。值得注意的是, 等式 (13) 与等式 (9) 一致。在判决菱形框 608 处, 如果 $\psi > r_p$, 则最大可用数据速率被设定得等于当前数据速率, 即速率对应于 $p(r_{\max} = r_p)$ 。否则, 索引 p 被减一, 即 $p = p-1$, 而且在步骤 602 处理对 p 减一并返回步骤 604。

[0140] CCRA 算法性能的估计包括与最优速度选择过程的比较。最优选择是非实际系统, 此系统基本测试每个可能的速率 (对于给定信道实现) 并且为给定 PER (如 $PRR < 1\%$) 选择最高速率。此算法不被预计超过最优模型, 因为此算法不被预计支持较高的吞吐量同时不违反指定的 PER。最佳实际算法是支持略小于 1% PER 的最佳算法的吞吐量。

[0141] 需要后退作为 CCRA 算法的结果, 此算法基于本身是所支持的速率的过估计的容量公式, 因为容量公式提供使用完全码的完全系统支持的速率, 一般此速率实际上得不到。换言之, 容量是信道的可达到速率的上边界。因此, 期望对 CCRA 产生的结果速率进行经训练的调整 (即, 后退)。同样, 当一系统支持在操作期间会引入不完全性的各个数据速率时, 可以期望后退。

[0142] 修改的受限容量速率自适应 (M-CCRA) 算法

[0143] 注意, S 是实际系统中对于每个可用速率对应于 1% 的 PER 的 SNR 集合。也可能基于容量公式估计 SNR 的理论理想值。设理想 SNR 集为 $S_{\text{cap}} = \{S_{\text{cap}, p}, p = 1, 2, \dots, P\}$ 。值得注意的是 $S_{\text{cap}, p} < S_p \forall p$, 因为 $S_{\text{cap}, p}$ 是理想系统要求的 SNR, 而 S_p 是实际系统要求的 SNR。定义集合 $\Omega = \{\Delta_p = S_p - S_{\text{cap}, p}, p = 1, 2, \dots, P\}$ 。那么 Δ_p 表示实际系统克服系统中的不完全性附加所需的 SNR。

[0144] 当等式 (13) 中的受限容量 x 在两个连续速率, 例如 r_p 和 r_{p+1} 之间时对应于 SNR 内的相应调整, 可以使用两个分别为 Δ_p 和 Δ_{p+1} 的级别进行。为了确定 ψ 的调整, 下面等式被应用:

$$[0145] \quad \Delta \Psi = \frac{\Delta_p(r_{p+1} - x) + \Delta_{p+1}(x - r_p)}{r_{p+1} - r_p} \quad \text{公式 (14)}$$

$$[0146] \quad \Delta \Psi = \max(\Delta_p, \Delta_{p+1}) \quad \text{公式 (15)}$$

[0147] 然后, 等式 (14) 或 (15) 中的任一计算可以被应用于 CCRA 算法, 它们还可以在步骤 606 中将 ψ 替换为 $\psi - \Delta \Psi$ 。换言之, 参考图 2, 在步骤 220 将 ψ 与 SNR 的比较替换为 $\psi - \Delta \Psi$ 与 SNR 的比较。改进的 CCRA 算法在图 7A 中被说明。过程 700 从步骤 702 的初始化检索 p 开始。接着, 在步骤 704 使用等式 (6) 或等式 (12) 中给定的计算确定受限容量。在步骤 706 中, SNR ψ 按照等式 (9) 和等式 (13) 被计算。在步骤 708 中, 等式 (14) 和等式 (15) 的修改被应用以产生 ψ' 。在判决菱形 710 处, 修改的 SNR ψ' 与 S_p 比较, 其中如果 ψ' 大于 S_p , 则最大速率被设定至索引 p 的当前值所标识的速率。否则, 在步骤 714 减小索引 p , 并且处理返回步骤 704。

[0148] 图 8 说明了 CCRA 算法的性能与最优或理想速率选择的比较。值得注意的是, CCRA

算法提供具有接近理想解的吞吐量的解,同时获得期望的 PER 水平,在示例性实施例中期望的 PER 水平是 1% PER。

[0149] 本领域的技术人员理解信息与信号可以用各种不同的工艺与技术来表示。例如,上面的描述中所指的数据、指令、命令、信息、信号、比特、符号以及片可以通过电压、电流、电磁波、磁场或磁微粒、光场或光微粒或者任何它们的组合来表示。

[0150] 本领域的技术人员还可以理解,结合这里揭示的实施例所描述的各种说明性的逻辑块、模块和算法步骤可以用电子硬件、计算机软件或两者的组合来实现。为了清楚地说明硬件和软件的交互性,各种说明性的组件、方框、模块、电路和步骤一般根据其功能性进行阐述。这些功能性究竟作为硬件或软件来实现取决于施加于整个系统所采用的特定的应用和设计约束。技术人员可以用不同的方式为具体应用实现所描述的功能,但是这些实现判决不应该被认为是脱离本发明的范围。

[0151] 结合这里所揭示的实施例来描述的各种说明性的逻辑块、模块和电路的实现或执行可以用:通用处理器、数字信号处理器(DSP)、应用专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其它可编程逻辑器件、离散门或晶体管逻辑、离散硬件组件、或用于执行这里所述功能而被设计的器件的任意组合。通用处理器最好是微处理器,然而或者,处理器可以是任何常规的处理器、控制器、微控制器或状态机。处理器也可以用计算机器件的组合例如 DSP 和微处理器的组合、多个微处理器、与 DSP 内核结合的一个或多个微处理器或者其它这样的配置来实现。

[0152] 结合这里所揭示的实施例来描述的方法或算法步骤的实现或执行可以直接包含于硬件中、处理器执行的软件模块中或者两者的组合。软件模块可以驻留于 RAM 存储器、快闪存储器、ROM 存储器、EPROM 存储器、EEPROM 存储器、寄存器、硬盘、可移动盘、CD-ROM、或本领域中已知的其它任意形式的存储媒体中。示例性储存媒质耦合到能从储存媒质中读取信息并能向其中写入信息的处理器上。或者,储存媒质可被整合入处理器中。处理器和储存媒质可以驻留在 ASIC 中。ASIC 可以驻留于用户终端。或者,处理器和储存媒质可以驻留用户终端作为分立的组件。

[0153] 上述优选实施例的描述使本领域的技术人员能制造或使用本发明。这些实施例的各种修改对于本领域的技术人员来说是显而易见的,这里定义的一般原理可以被应用于其它实施例中而不使用创造能力。因此,本发明并不限于这里示出的实施例,而要符合与这里揭示的原理和新颖特征一致的最宽泛的范围。

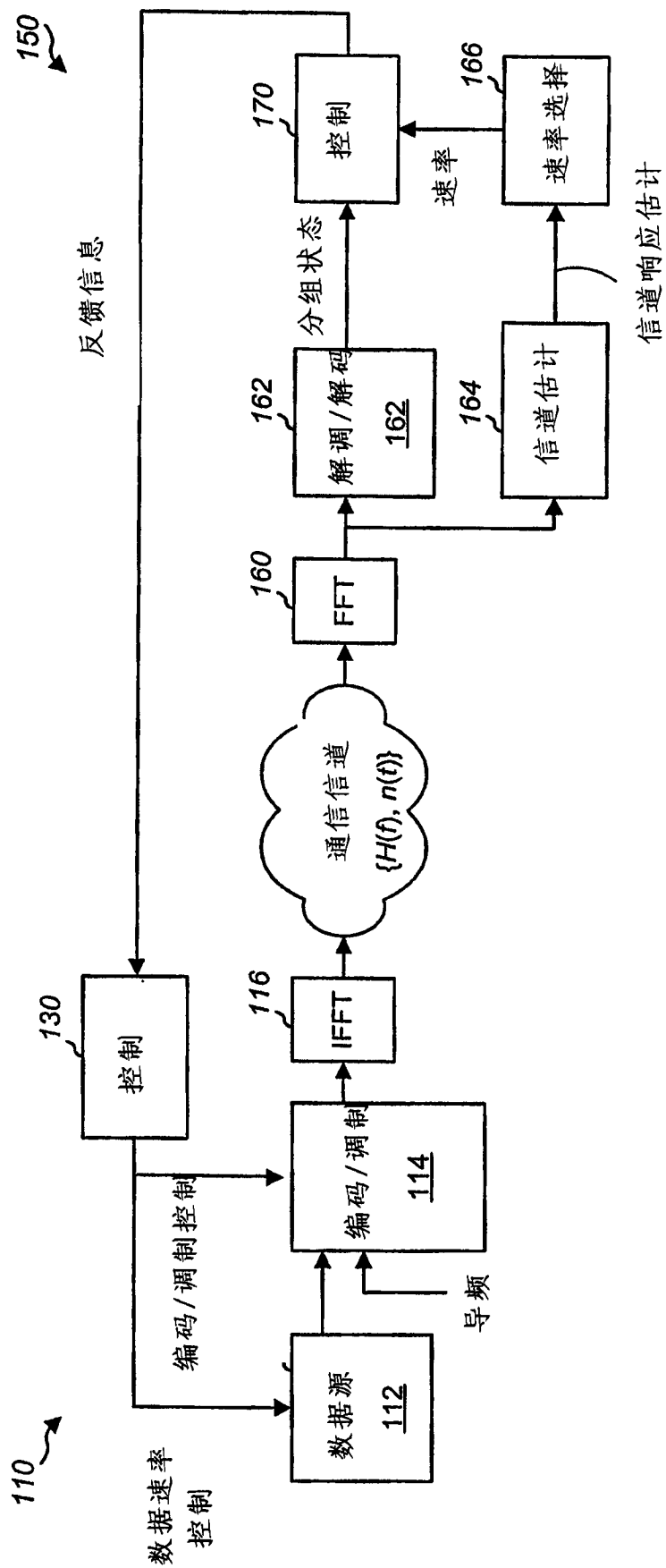


图 1A

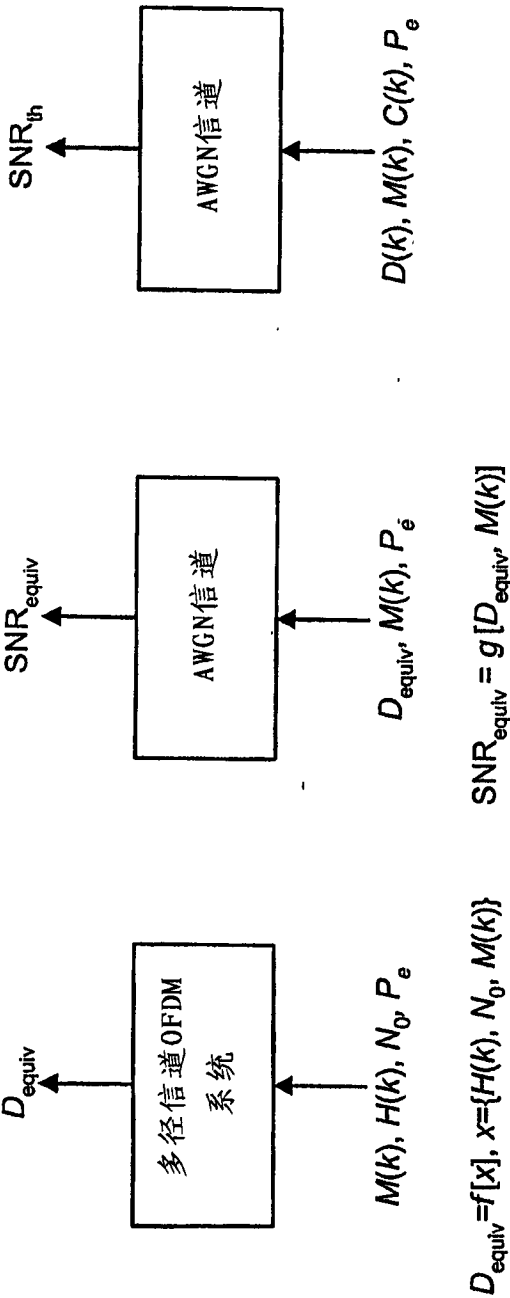


图 1B

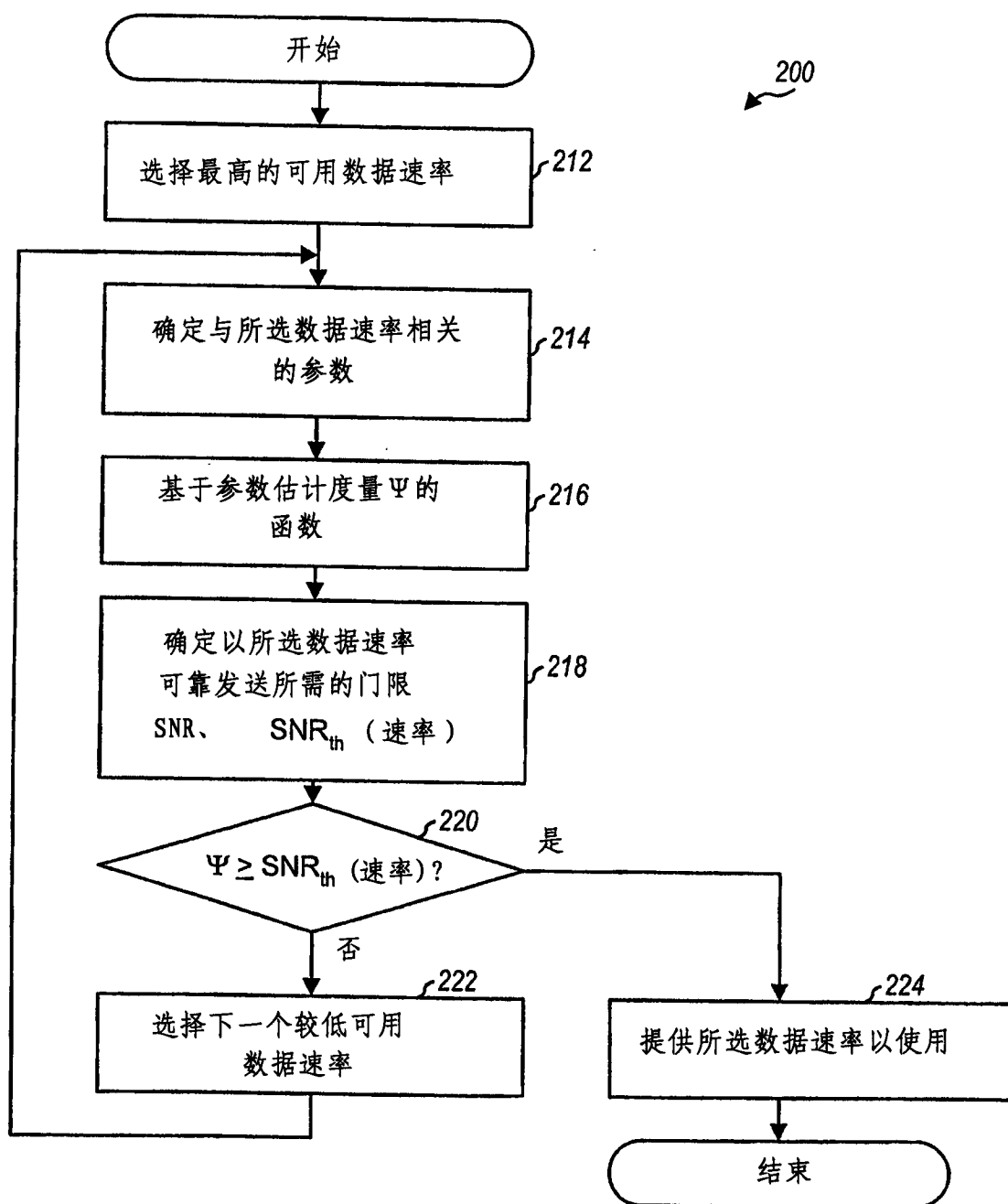


图 2

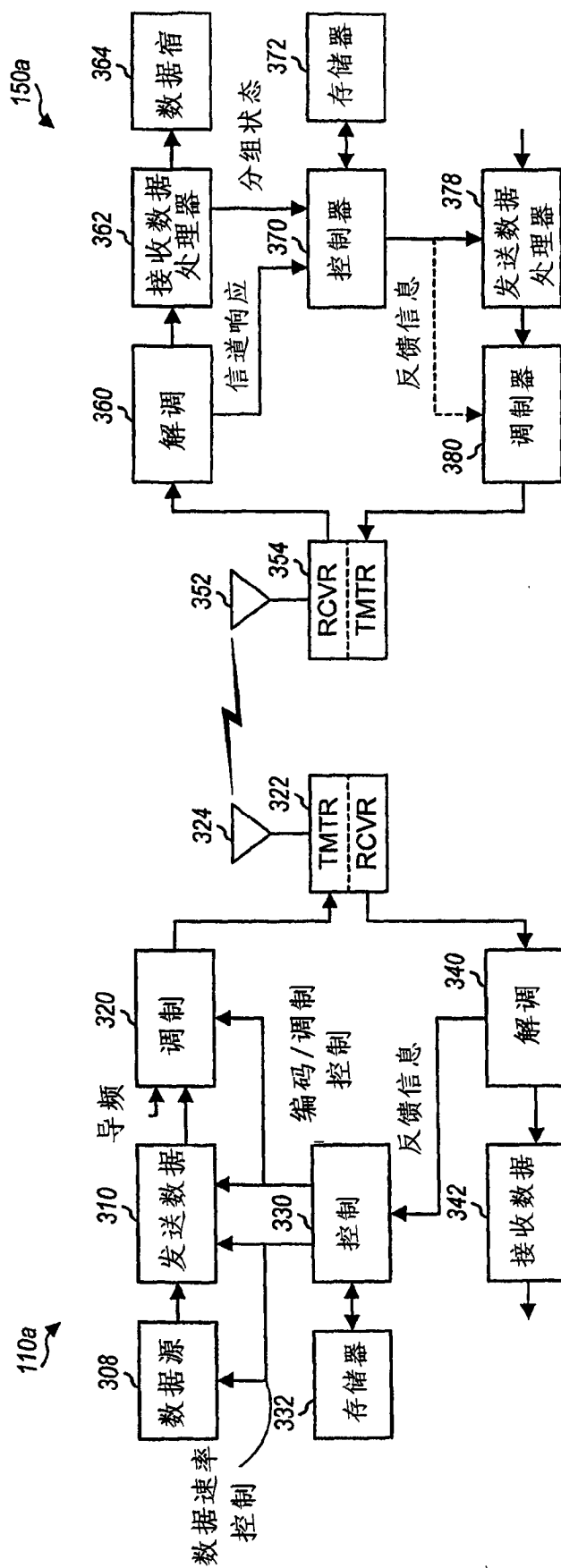


图 3

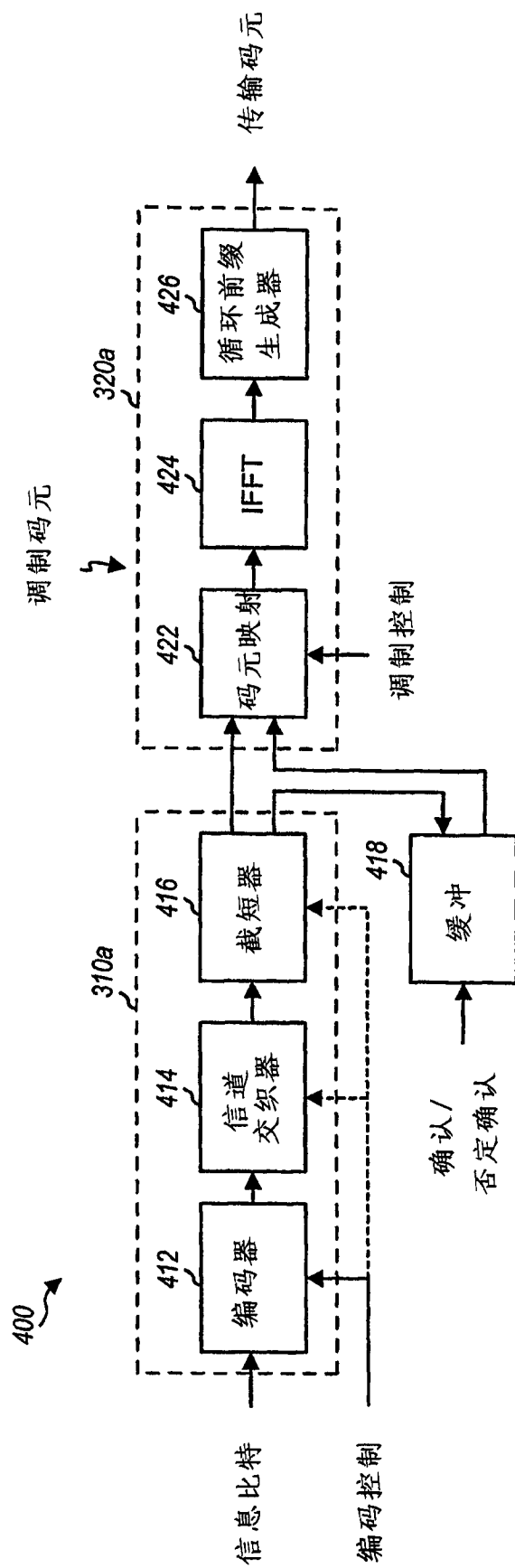


图 4

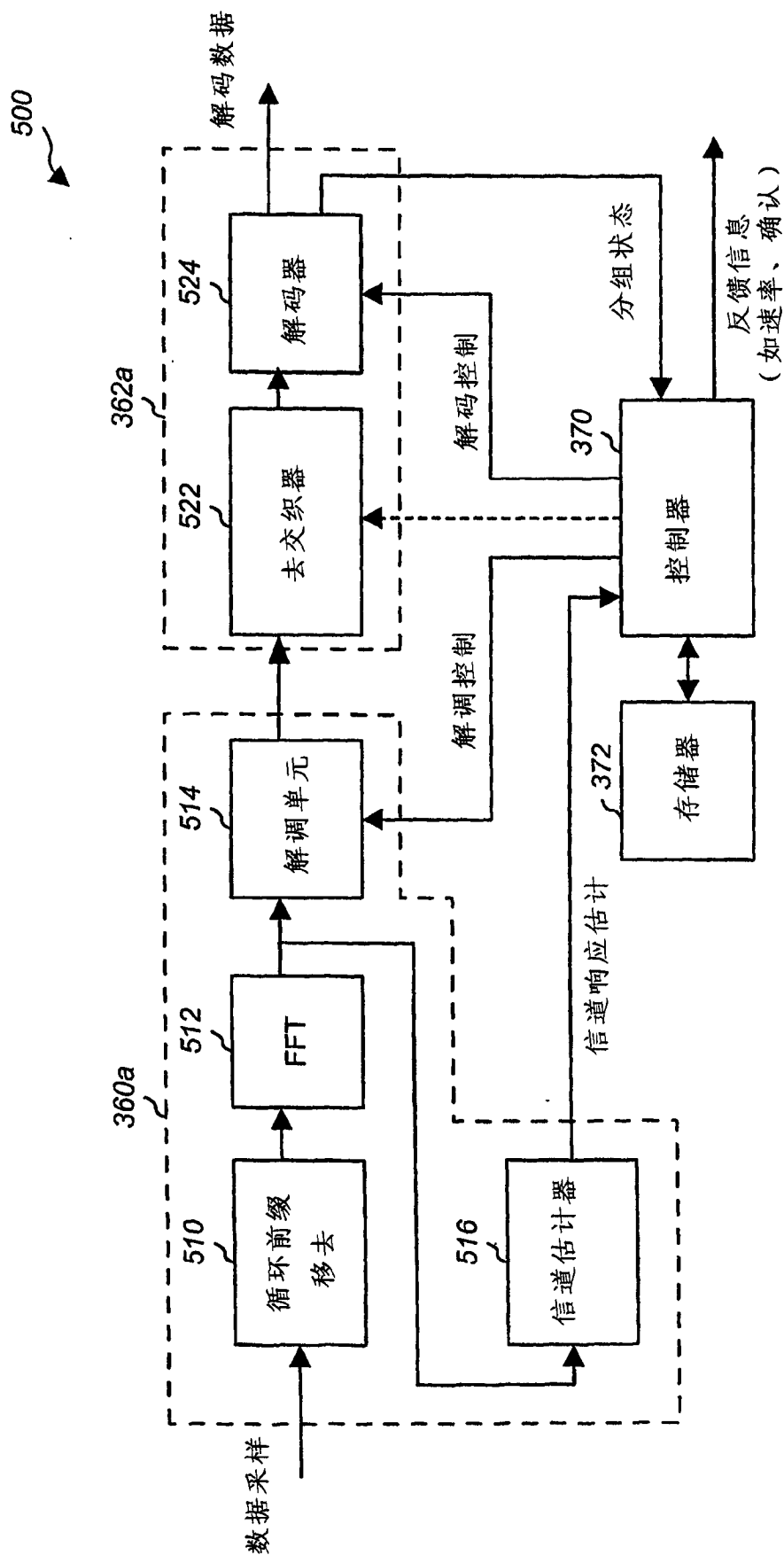


图 5

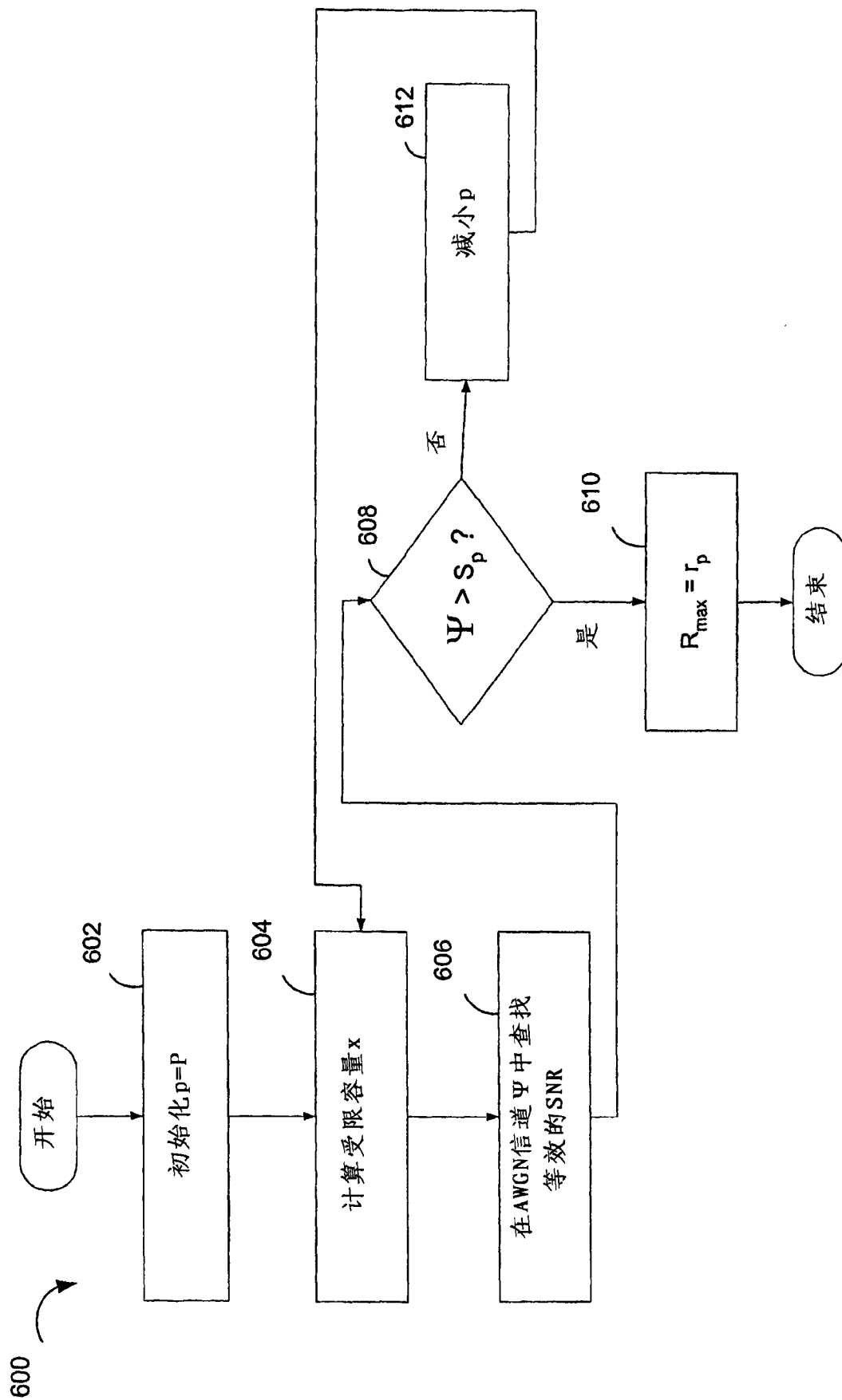


图 6

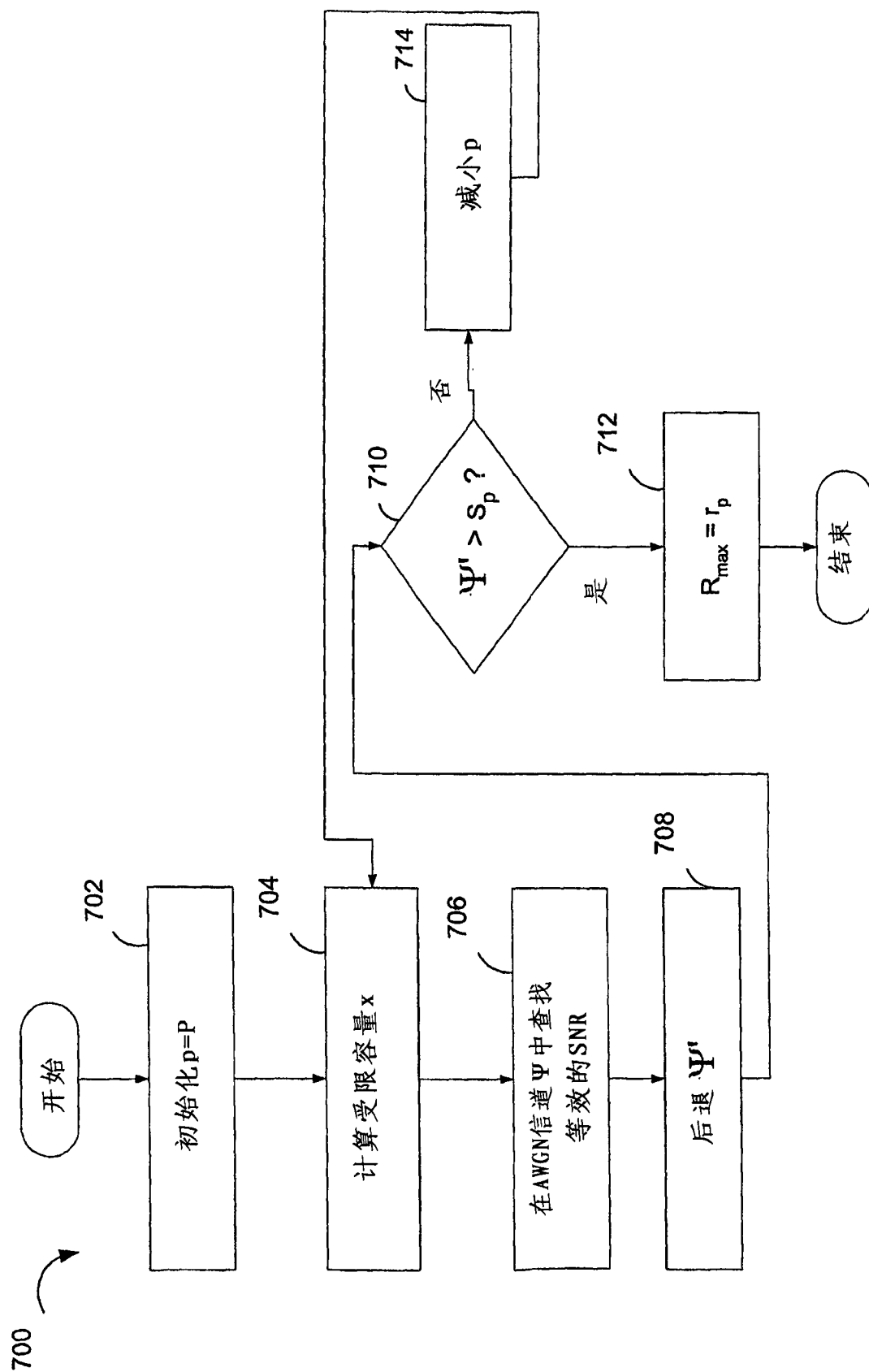


图 7A

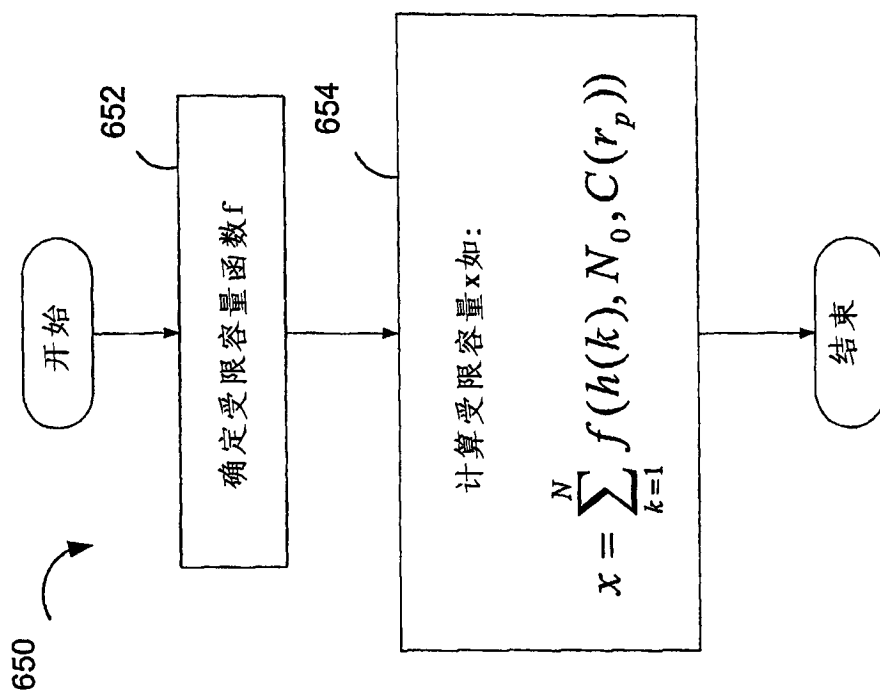


图 7B

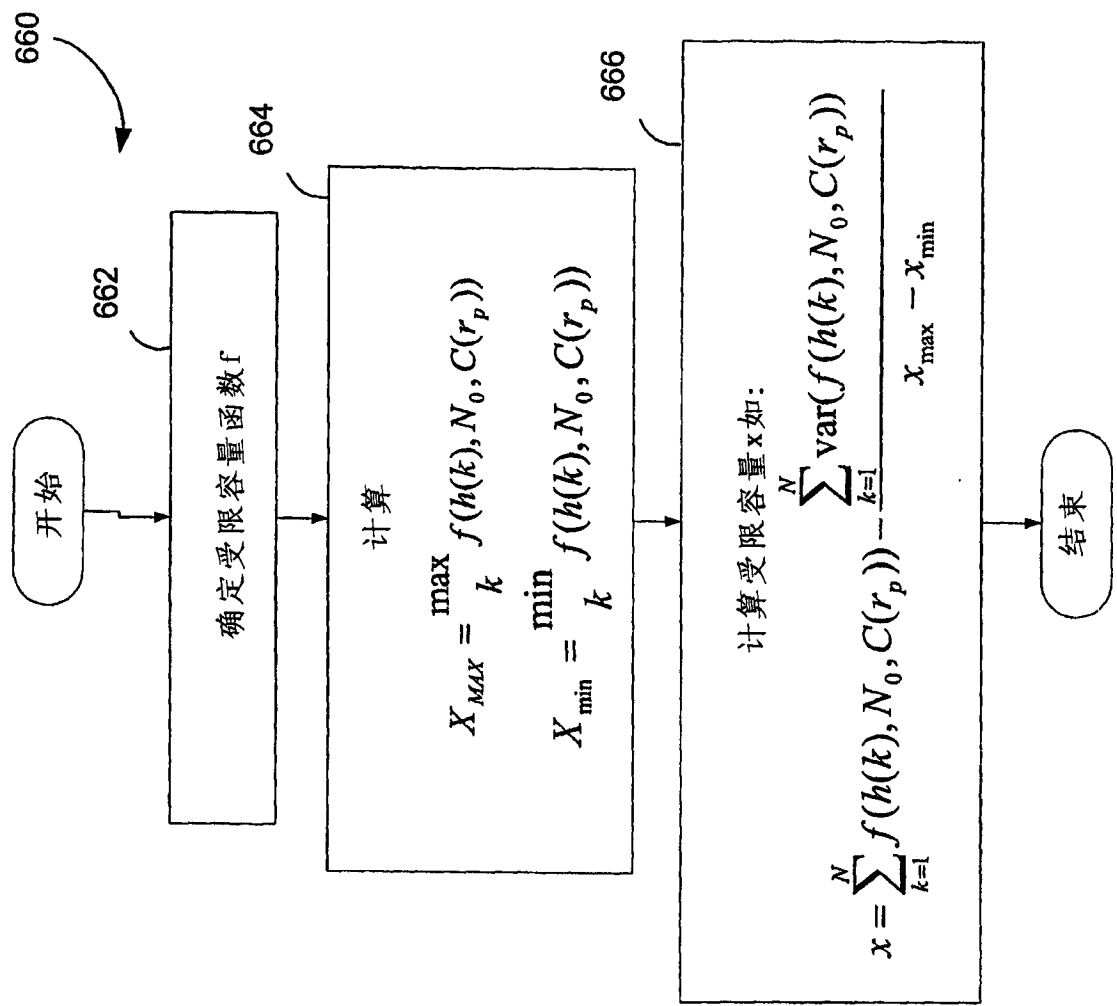


图 7C

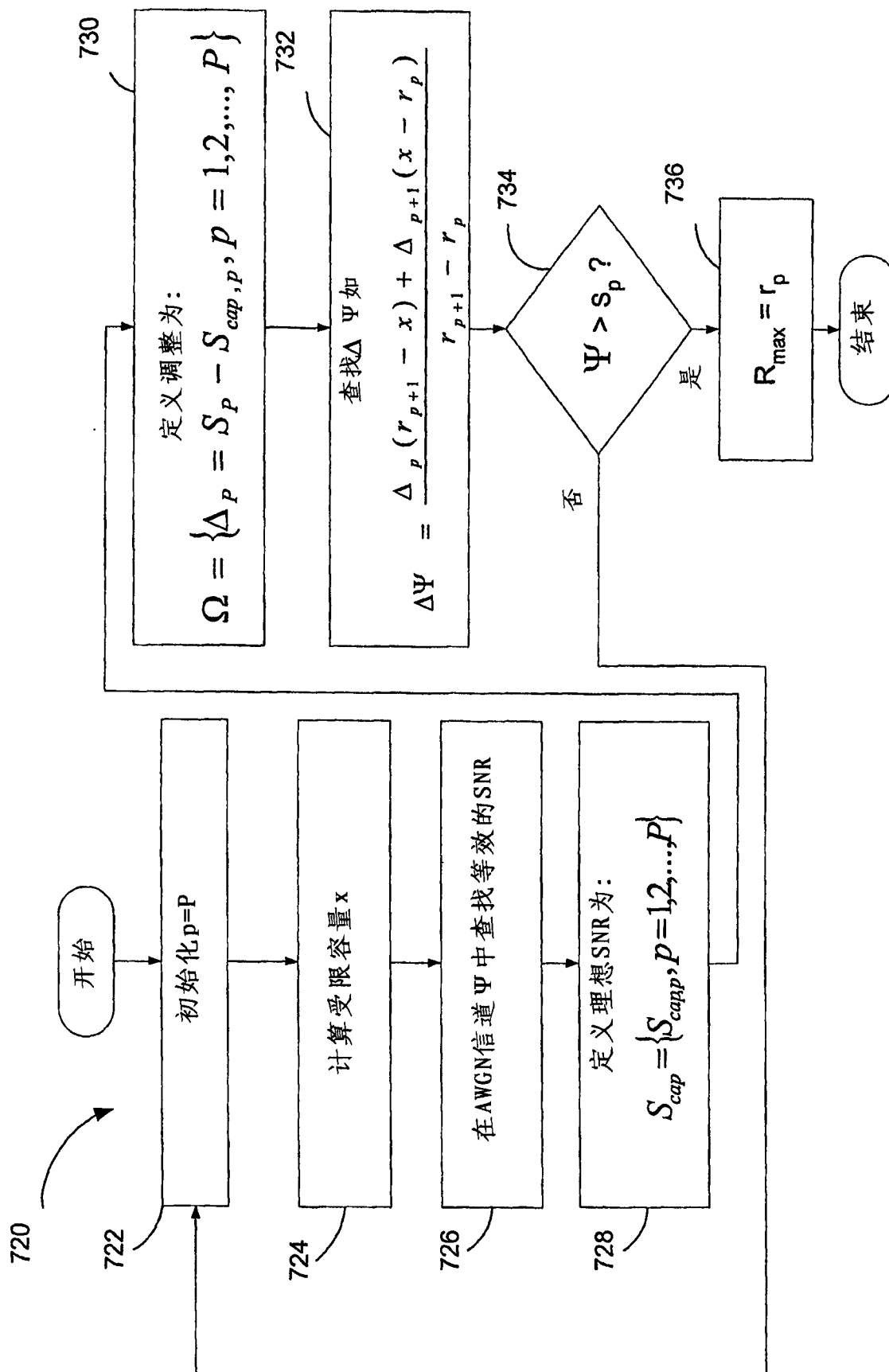


图 7D

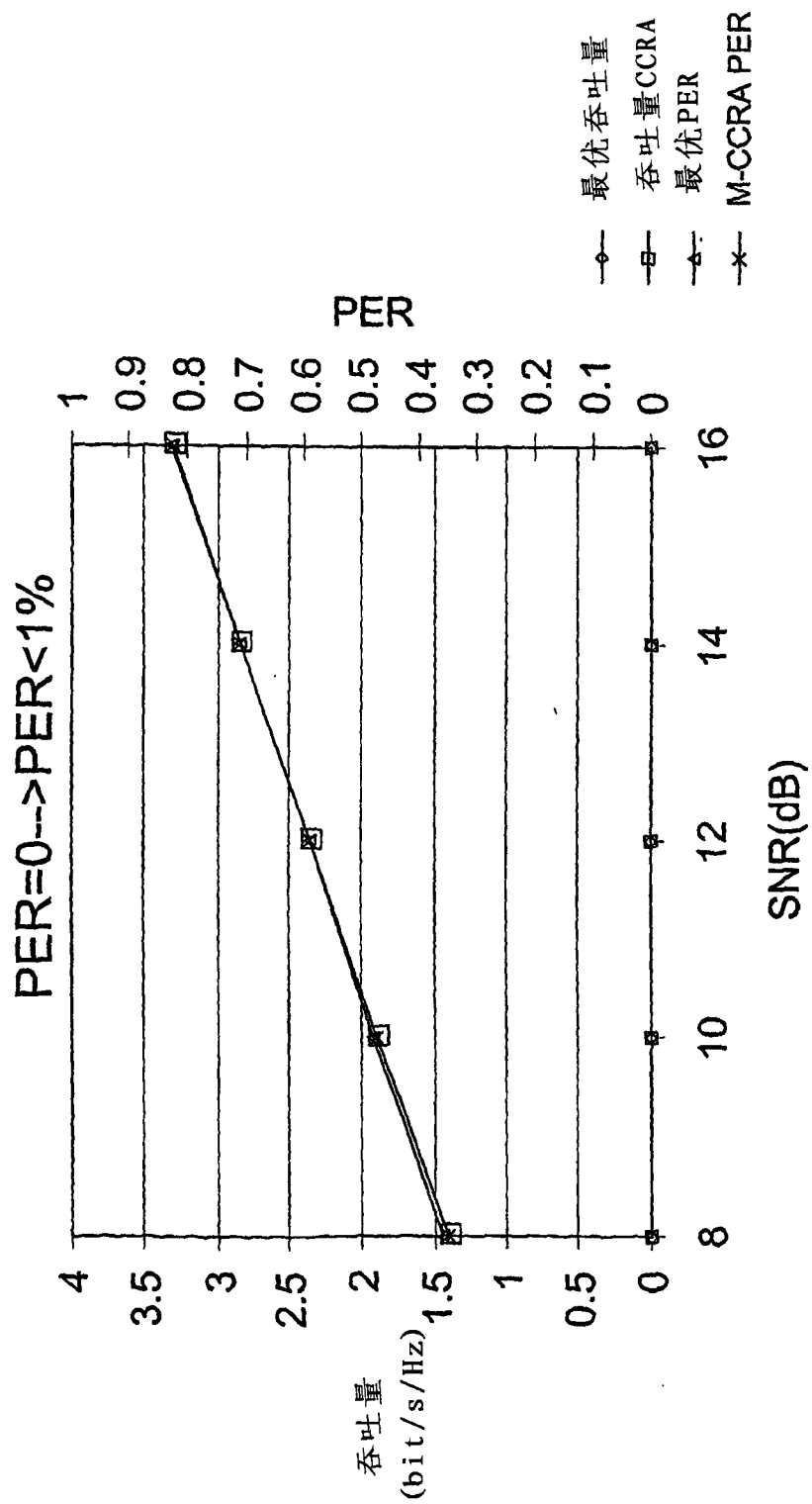


图 8