

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04B 7/005 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02824090.1

[45] 授权公告日 2008 年 3 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100377508C

[22] 申请日 2002.10.11 [21] 申请号 02824090.1
[30] 优先权

[32] 2001.10.15 [33] US [31] 09/978,337

[86] 国际申请 PCT/US2002/032565 2002.10.11

[87] 国际公布 WO2003/034610 英 2003.4.24

[85] 进入国家阶段日期 2004.6.3

[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 J·W·凯彻姆

[56] 参考文献

CN1223759A 1999.7.21

CN1289485A 2001.3.28

US6160791A 2000.12.12

审查员 刘 刚

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司
代理人 张政权

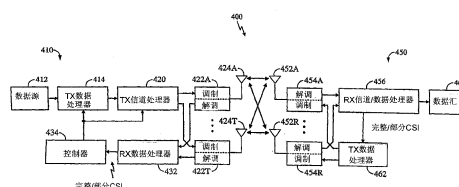
权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 4 页

[54] 发明名称

MIMO 通信系统中确定功率分配的方法和设备

[57] 摘要

在每个发射天线都具有有限功率的 MIMO 通信系统中，提供了一种方法、设备和处理器来确定分配给每个发射天线处的每个 OFDM 频率区段的区段能量级别。确定一个解矢量估计，包括在每个天线处分配给每个 OFDM 频率区段的区段能量级别元素。根据所确定的解矢量确定一个误差函数。根据所确定的误差函数确定一个误差量值。将误差量值与误差阈值进行比较。当误差量值小于误差阈值时，接受具有分配区段能量级别的元素的解矢量估计。



1. 一种在多输入多输出 MIMO 无线系统中通信的方法，包括：

经由多个接收天线在接收机处接收多个信号，其中每个接收天线处的每个接收信号包括从发射机发送的一个或多个信号的组合，

处理所述多个接收信号，以得到信道状态信息 CSI，所述信道状态信息指出接收机和发射机之间多个传输信道的特性；

发送 CSI 到所述发射机，其中根据在每个发射天线处可用的有限功率和根据注水等式，所述发射机部分地基于所述 CSI 并使用迭代过程来计算发射机处多个发射天线上的多个频率区段的频率区段能量，其中，所述发射机根据计算出的频率区段能量调整调制码元。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，通过求解非线性等式组并同时在可接收的级别上维持误差的测量值，来计算所述频率区段能量。

3. 一种方法，用于对每个发射天线都具有有限功率的 MIMO 通信系统中，来确定分配给每个发射天线处的每个 OFDM 频率区段的区段能量级别，包括：

确定一个解矢量估计，该矢量包括每个天线处的每个 OFDM 频率区段的所述分配区段能量级别的元素；

根据所确定的解矢量确定一个误差函数；

根据所确定的误差函数确定一个误差量值；

将所述误差量值与一个误差阈值进行比较；以及

当所述误差量值小于所述误差阈值时，接受具有所述分配区段能量级别的所述元素的所述解矢量估计。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，还包括：

以迭代的方式继续确定对所述解矢量的估计的步骤，确定所述误差函数和所述误差量值的步骤以及比较所述误差量值和所述误差阈值的步骤，直至所述误差量值小于所述误差阈值。

5. 如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，确定所述解矢量的步骤包括：

对每个发射天线处的 OFDM 频率区段中的每个区段初始化地分配一个相等的能量级别；

对于每个发射天线和 OFDM 频率区段,根据分配给每个区段的所述相等能量级别计算每个所述天线处的所述频率区段中的每一个区段的信噪比 $\Gamma_m(n)$;

根据计算出的所述 $\Gamma_m(n)$ 确定每个天线处的区段能量级别和注水参数,同时要满足一组注水等式; 以及

其中确定所述解矢量估计是基于每个区段的所述确定的能量级别以及所述注水参数。

6. 如权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述迭代方式包括根据修正矢量和步进乘因子来修正所述确定的解矢量。

7. 如权利要求 6 所述的方法,其特征在于,所述修正矢量是基于所述确定的解矢量和所述误差函数的雅可比行列式。

8. 如权利要求 6 所述的方法,其特征在于,所述修正矢量被调整以确定每个迭代步骤中的一个新的解矢量。

9. 如权利要求 8 所述的方法,其特征在于,还包括在每个迭代步骤之后确定一个新的误差量值并将该新的误差量值和所述误差阈值进行比较的步骤。

10. 一种设备,用于对每个发射天线都具有有限功率的 MIMO 通信系统中,来确定分配给每个发射天线处的每个 OFDM 频率区段的区段能量级别,包括:

确定一个解矢量估计的装置,包括每个天线处的每个 OFDM 频率区段的所述分配区段的能量级别元素;

根据所确定的解矢量估计确定一个误差函数的装置;

根据所确定的误差函数确定一个误差量值的装置;

将所述误差量值与一个误差阈值进行比较的装置; 以及

当所述误差量值小于所述误差阈值时,接受具有所述分配区段能量级别的所述元素的所述解矢量估计的装置。

11. 如权利要求 10 所述的设备,其特征在于,还包括:

以迭代的方式继续确定对所述解矢量的估计、确定所述误差函数和所述误差量值以及比较所述误差量值和所述误差阈值,直至所述误差量值小于所述误差阈值的装置。

12. 如权利要求 10 所述的设备,其特征在于,确定所述解矢量估计的装置包括:

对每个发射天线处的 OFDM 频率区段中的每个区段初始化地分配一个相等的能量级别的装置；

对于每个发射天线和 OFDM 频率区段，根据分配给每个区段的所述相等能量级别计算信噪比 $\Gamma_m(n)$ 的装置；

根据计算出的所述 $\Gamma_m(n)$ 确定每个天线处的区段能量级别和注水参数的装置，同时要满足一组注水等式；以及

其中确定所述解矢量估计是基于每个区段的所述确定的能量级别以及所述注水参数。

13. 如权利要求 11 所述的设备，其特征在于，所述迭代方式包括根据修正矢量和步进乘因子来修正所述确定的解矢量。

14. 如权利要求 13 所述的设备，其特征在于，所述修正矢量基于所述确定的解矢量和所述误差函数的雅可比行列式。

15. 如权利要求 11 所述的设备，其特征在于，所述修正矢量被调整以确定每个迭代步骤中的一个新的解矢量。

16. 如权利要求 15 所述的设备，其特征在于，还包括在每个迭代步骤之后确定一个新的误差量值并将该新的误差量值和所述误差阈值进行比较的装置。

17. 一种处理器，用于对每个发射天线都具有有限功率的 MIMO 通信系统中，所述处理器用来确定分配给每个发射天线处的每个 OFDM 频率区段的区段能量级别，包括：

发射信道处理器，用于耦合至所述通信系统中的发射机；

其中所述发射信道处理器被配置用来：

确定一个解矢量估计，该矢量包括所述发射机的每个天线处的每个 OFDM 频率区段的所述分配的区段能量级别元素；

根据所确定的解矢量估计确定一个误差函数；

根据所确定的误差函数确定一个误差量值；

将所述误差量值与一个误差阈值进行比较；以及

当所述误差量值小于所述误差阈值时，接受具有所述分配区段能量级别的所述元素的所述解矢量估计。

18. 如权利要求 17 所述的处理器，其特征在于，所述发射信道处理器还被配置用来：以迭代的方式继续确定对所述解矢量的估计、确定所述误差函数和所述误差量值以及比较所述误差量值和所述误差阈值，直至所述误差量值小于所述误差阈值。

19. 如权利要求 17 所述的处理器，其特征在于，确定对所述解矢量的估计包括：

对每个发射天线处的 OFDM 频率区段中的每个区段初始化地分配一个相等的能量级别；

对于每个发射天线和 OFDM 频率区段，根据分配给每个区段的所述相等能量级别计算信噪比 $\Gamma_m(n)$ ；

根据计算出的所述 $\Gamma_m(n)$ 确定每个天线处的区段能量级别和注水参数，同时要满足一组注水等式；以及

其中确定所述解矢量估计是基于每个区段的所述确定的能量级别以及所述注水参数。

20. 如权利要求 18 所述的处理器，其特征在于，所述迭代方式包括根据修正矢量和步进乘因子来修正所述确定的解矢量。

21. 如权利要求 20 所述的处理器，其特征在于，所述修正矢量是基于所述确定的解矢量和所述误差函数的雅可比行列式。

22. 如权利要求 20 所述的处理器，其特征在于，所述修正矢量被调整以确定每个迭代步骤中的一个新的解矢量。

23. 如权利要求 22 所述的处理器，其特征在于，还包括在每个迭代步骤之后确定一个新的误差量值并将该新的误差量值和所述误差阈值进行比较的装置。

MIMO 通信系统中确定功率分配的方法和设备

技术领域

本发明一般涉及数据通信，尤其涉及在多输入多输出（MIMO）通信系统中确定每个天线处的区段能量（bin energy）分配。

背景技术

对于语音和数据等各种类型的通信，多信道通信系统可以提供比其他类型的通信系统更强的传输能力。这样的多信道系统可以是多输入多输出（MIMO）通信系统、正交频分调制（OFDM）、使用 OFDM 的 MIMO 系统或者一些其他类型的系统。MIMO 系统包括多个发送天线和多个接收天线来利用空间分集性。空间分集性可以被用来支持多个空间子信道，每个子信道都可以被用来发送数据。OFDM 系统有效地将工作频带分成多个频率子信道（或者叫频率区段（frequency bin）），每个频率区段各自与一个子载波相关，数据可以在子载波上被调制。这样，多信道通信系统可以支持多个“传输”信道，每个传输信道可以对应于 MIMO 系统中的一个空间子信道、OFDM 系统中的一个频率子信道或者使用 OFDM 的 MIMO 系统中的频率子信道的一个空间子信道。

多信道通信系统的传输信道一般要承受不同的链路条件（如，由于不同的衰落和多径效应所造成的），并可能具有不同的信噪比（SNR）。结果，某一性能级别上传输信道所支持的传输容量（即，信息比特率）对于不同信道而言可能是不同的。因此，确定分配给每个信道的功率级别可能是困难的。对分配给一个信道的功率进行调整可能会对其他信道造成干扰。另外，链路条件一般是随时间变化的。因此，在时变系统中，多信道通信系统中功率分配的确定将更加困难。

为了这个和其他目的，需要一种技术来在多信道通信系统中有效和高效地确定分配给每个信道的功率。

发明内容

在有限功率的 MIMO 通信系统中对于每个发送天线，提供了一种方法、设备和处理器来确定在每个发送天线处分配给每个 OFDM 频率区段的区段功率级别。确定一个解矢量估计，该矢量包括在每个天线处分配给每个 OFDM 频率区段的区段能量级别的元素。根据所确定的解矢量确定一个误差函数。根据所确定的误差函数确定一个误差量值。将误差量值与误差阈值进行比较。当误差量值小于误差阈值时，处理器接受具有分配的区段能量级别元素的解矢量估计。

附图说明

通过以下结合附图所进行的详细描述，本发明的特征、属性和优点将更加明显。附图中，相同的附图标记表示相同的部件。其中：

图 1 显示了根据本发明各方面的多输入多输出 (MIMO) 通信系统的示意图；

图 2 显示了根据本发明各实施例的一个处理过程的流程图，用于确定分配给每个选定发送信道的发送功率量；

图 3 显示了根据本发明各方面的一个流程图，用于为图 2 所示流程图的一个或多个步骤计算“注水 (water-pouring)”等式的解矢量；

图 4 是能够实施本发明各方面和实施例的 MIMO 通信系统的示意图。

具体实施方式

本发明的各方面、实施例和特征可以被应用于任何多信道通信系统，在这些多信道通信系统中，用多条传输信道被用于数据传输。这样的多信道通信系统包括多输入多输出 (MIMO) 通信系统、正交频分调制 (OFDM)、使用 OFDM 的 MIMO 系统或者其他一些系统。多信道通信系统还可以实施码分多址 (CDMA)、时分多址 (TDMA)、频分多址 (FDMA) 或其他一些多址接入技术。多址接入通信系统能够支持与多个终端 (即，用户) 进行的并发通信。

图 1 是根据本发明各方面和实施例进行工作的一个多输入多输出 (MIMO) 通信系统 100 的示意图。MIMO 系统采用多个 (N_T 个) 发送天线和多个 (N_R 个) 接收天线进行数据传输。MIMO 系统 100 有效地被形成用于具有基站 (BS) 104 的多址接入通信系统，该基站并发地与多个终端 (T) 106 进行通信。在此情况下，基站 104 采用多个天线，对下行链路传输代表多个输入 (MI) 和对上行链

路代表多个输出。下行链路（即，前向链路）指的是从基站到终端的传输，上行链路（即，反向链路）指的是从终端到基站的传输。

MIMO 系统采用多个 (N_T 个) 发送天线和多个 (N_R 个) 接收天线进行数据传输。由 N_T 个发送天线和 N_R 个接收天线形成的 MIMO 信道可以被分解成 N_C 个独立信道，其中 $N_C \leq \min\{N_T, N_R\}$ 。 N_C 个独立信道中的每一个也被称为 MIMO 信道的一个空间子信道，并和一个维度相对应。在一个普通的 MIMO 系统实现中， N_T 个发送天线位于单个发射机系统中并与之相关联，类似地， N_R 个接收天线位于单个接收机系统中并与之相关联。MIMO 系统还可以被有效地形成用于具有基站的多址接入通信系统，该基站并发地与多个终端进行通信。在此情况下，基站配备有多个天线，每个终端也可配备有一个或多个天线。

OFDM 系统有效地将工作频带分成多个 (N_F 个) 频率子信道（即，频率区段）。在每个时隙中，调制码元可以在 N_F 个频率子信道的每一个上被发送。每个时隙对应于一个具体的时间间隔，它取决于频率子信道的带宽。

多信道通信系统可以经由多个传输信道发送数据。对于不采用 OFDM 的 MIMO 系统，通常只有一个频率子信道，且每个空间子信道可以被称为一个传输信道。对于采用 OFDM 的 MIMO 系统，每个频率子信道的每个空间子信道可以被称为一个传输信道。对于不采用 MIMO 的 OFDM 系统，每个频率子信道只有一个空间子信道，且每个频率子信道可以被称为一个传输信道。

多信道通信系统中的传输信道通常承受不同的链路条件（如，由于不同的衰落和多径效应所造成的），并可能具有不同的信噪比（SNR）。结果，传输信道容量可能依信道而不同。这里的容量可以用某一性能级别（如每一特定比特误差率（BER）或分组误差率（PER））上传输信道上所传输的信息比特率（即，每个调制码元的信息比特数）来量化。由于链路条件通常随时间变化，传输信道所支持的信息比特率也随时间变化。

为了更完全地利用传输信道的容量，可以确定（通常在接收机系统）描述链路条件的信道状态信息（CSI），并将其提供给发射机系统。发射机系统随后可以处理（如，编码、调制和分配功率）数据，使得每个信道的发送信息比特率与该信道的发送容量相匹配。CSI 可以被分类成“完整 CSI”或“部分 CSI”。完整 CSI 包括对 $N_T \times N_R$ 的 MIMO 矩阵中每个发送-接收天线对之间的传播路径的

在整个系统带宽上的充分特性描述（如，幅度和相位）（即，对每个传输信道的特征描述）。部分 CSI 可以包括，例如，传输信道的 SNR。

在多条传输信道上进行传输之前，可以用多种技术来处理数据。在一种技术中，可以根据信道的 CSI 来对每个传输信道的数据进行编码、调制和分配功率级别。通过为每个传输信道独立地编码、调制和分配功率，可以为每个信道所实现的 SNR 最优化编码、调制和分配的功率。在这种技术的一个实现中，使用一个固定的基码来编码数据，随后截短（即，有选择性地删除）每个传输信道的编码比特，以获取该信道所支持的编码速率。在该实现中，还根据信道的编码速率和 SNR 来选择每个传输信道的调制方式。2001 年 2 月 1 日提交的美国专利申请序列号 No. 09/776,075、题为“CODING SCHEME FOR A WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM”的专利文件中详细描述了这种编码和调制实现，该专利已被转让给本申请的受让人，并引入这里作为参考。对于这第一种技术，本质上的实现复杂性通常是与每个传输信道具有不同的编码速率和调制方式有关。另外，对不同信道的功率分配可能涉及若干次的叠加，因为在接收天线处来自一条信道的功率将会被视为对另一条信道的干扰。根据本发明的各方面，提供了多种技术以通过确定区段能量和每个天线的所有区段的总能量来以一种高效和有效的方式确定分配给不同信道的功率分配。

对于采用 OFDM 和具有完整 CSI 可供利用的 MIMO 系统，发射机系统知道每个频率子信道的每对发送-接收天线对之间的传输路径的复数值增益。此信息可以被用来使得 MIMO 信道对于每条频率子信道而言都是正交的，以此使得每条频率子信道的每个特征模型（mode-eigen）（即，空间子信道）可以被用于一个独立的数据流。对于采用 OFDM 和具有完整 CSI 可供利用的 MIMO 系统，发射机具有有限的对传输信道的了解。独立数据流可以在可用的发送信道的相应传输信道上被发送，接收系统使用一个特定的线性或非线性的处理技术（即，均衡）来分离出该数据流。均衡提供了与每条传输信道（即，每个发送天线和/或每条传输子信道）相对应的独立数据流，这些数据流中的每一个都具有一个相关的 SNR。

如果在发射机系统处可以得到传输信道的 SNR 集，该信息可以被用来选择适当的编码和调制方式以及分布总的可用传输功率。如在发射机系统处可以利

用信道增益，也可以进行类似的处理。在一个实施例中，对所有选定的传输信道都使用公共的编码方式（如，特定编码速率的特定 Turbo 编码）和公共的调制方式（如，特定 QAM 格局（constellation））。

在具有 N_T 个发送天线和 N_R 个接收天线的 MIMO OFDM 系统中，在 N_R 个接收天线输出处的第 n 个频率区段中的接收信号可以被表示为：

$$\mathbf{r}(n) = \mathbf{H}(n)\mathbf{x}(n) + \mathbf{z}(n); 1 \leq n \leq N_F,$$

(1)

其中 $\mathbf{r}(n)$ 是第 n 个 OFDM 频率区段中的接收码元矢量（即，从接收天线得到的、输出自 MIMO 信道的 $N_R \times 1$ 矢量）； $\mathbf{H}(n)$ 是 $N_R \times N_T$ 阶的复数值信道系数矩阵，表示在与第 n 个 OFDM 频率区段相关的频率处的信道响应； $\mathbf{x}(n)$ 是第 n 个 OFDM 频率区段中的发送码元矢量（即，输入到 MIMO 信道的 $N_T \times 1$ 矢量）； $\mathbf{z}(n)$ 是一个 $N_R \times 1$ 矢量，表示第 n 个 OFDM 频率区段中的噪声加干扰。接收的码元矢量 $\mathbf{r}(n)$ 包括与 OFDM 频率区段 n 相关的 N_R 个调制码元，它们来自在特定时隙中经由 N_R 个接收天线接收到的 N_R 个信号。类似地，发送的码元矢量 $\mathbf{x}(n)$ 包括与 OFDM 频率区段 n 相关的 N_T 个调制码元，它们位于在特定时隙中经由 N_T 个发送天线所发送的 N_T 个信号中。

信道系数矩阵 $\mathbf{H}(n)$ 可以被进一步写成：

$$\mathbf{H}(n) = [\mathbf{h}_1(n) \ \mathbf{h}_2(n) \ \cdots \ \mathbf{h}_{N_T}(n)]$$

(2)

其中，矢量 $\mathbf{h}_i(n)$ 包含在与第 n 个 OFDM 频率区段相关的频率处的与第 i 个发送天线相关的信道系数。

在多信道通信系统中的传输信道通常承受不同的链路条件且具有不同的 SNR。一些与增强的信道衰减有关的信道条件导致更低的接收 SNR，而与减小的信道衰减有关的其他信道条件导致更高的接收 SNR。在信息论中广为人知的是，在具有有限可用传输功率的多信道通信系统中，通过使用被称为“注水”的过程来在信道之间分布可用功率，可以使得容量最大化，注水过程在由 John Wiley and Sons Inc. 于 1968 年所出版的 Robert G. Gallager 所著的 [1] “Information Theory and Reliable Communication” 一书中有所论述，该资料被引入这里作

为参考，并在下面称作为[1]。在具有完整 CSI、发射机能够在整个发射天线集合上进行波束形成、且具有对所有发射天线的总合成发送功率的限制的 MIMO OFDM 通信系统中，通过根据[1]中的注水过程在所有频率子信道的所有空间子信道之间分配总的发送功率，可以使得容量最大化。当被应用于 MIMO 系统的单个频率时，1999 年 11 月/12 月所发表的“Europe Transactions on Telecommunication”卷 10 第 585-595 页中由 I. Emre Telatar 所著的[2]“Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels”对此过程进行了描述，该资料被引入这里作为参考，并在下面称作为[2]。2000 年 10 月 1-4 日在爱尔兰戈尔韦所举行的 IST Mobile Comm SUMMIT 2000 会议记录第 491-496 页中的由 Daniel Perez Palomar, Javier R. Ronolloso, Miguel A. Lagunas 所发表的[3]“Capacity results on frequency-selective Rayleigh MIMO channels”一文中，描述了 MIMO 系统中的跨频率的注水过程和特征模型，该资料被引入这里作为参考，并在下面称作为[3]。

然而，在对每个天线都具有发送功率限制或者不可能在整个发送天线集合上进行波束形成的 MIMO OFDM 通信系统中，就需要找到一种在每个发送天线处在所有频率子信道上对可用发送功率的最优化分配，因为在这些情况下，不可能直接将发送功率的分配控制到特征模型。在这些情况下，[1]中所描述的注水方案无法被使用，因为当无法用特征模型分解来使得频率子信道正交化时，每条频率子信道上的 MIMO 空间子信道之间存在着耦合。

图 2 描绘了根据本发明各实施例的一个处理过程 200 的流程图，用于确定在每个天线处分配给每个 OFDM 频率区段的区段能量级别以及所有天线和所有区段上的总能量。OFDM 频率区段可以从 1 个到 N_F 个 ($1 \leq n \leq N_F$)。发送天线可以从 1 个到任意的 N_T 个 ($1 \leq m \leq N_T$)。该过程的目的是为了计算出区段能量值， $\varepsilon_m(n)$ ； $1 \leq m \leq N_T$ ； $1 \leq n \leq N_F$ ，以及注水参数 B_m ； $1 \leq m \leq N_T$ ，它们满足以下注水等式：

$$\begin{aligned} \max \left[\left(B_m - \frac{1}{\Gamma_m(n)} \right), 0 \right] - \varepsilon_m(n) &= 0; 1 \leq m \leq N_T; 1 \leq n \leq N_F \\ \sum_{n=1}^{N_F} \varepsilon_m(n) - E_m &= 0; 1 \leq m \leq N_T \end{aligned}$$

(3)

其中 E_m 是在天线 m 上可用于发送单个 OFDM 码元的最大能量, $\Gamma_m(n)$ 由下式定义:

$$\Gamma_m(n) = \underline{\mathbf{h}}_m^H(n) \left[N_0 \mathbf{I} + \sum_{\substack{\ell=1 \\ \ell \neq m}}^{N_T} \varepsilon_m(n) \underline{\mathbf{h}}_\ell(n) \underline{\mathbf{h}}_\ell^H(n) \right]^{-1} \underline{\mathbf{h}}_m(n) \quad (4)$$

在下面对找出区段能量值所进行的迭代过程的描述中, $\varepsilon_m(n)$; $1 \leq m \leq N_T$; $1 \leq n \leq N_F$, 注水参数 B_m ; $1 \leq m \leq N_T$, 它们满足式 (3) 中的注水等式, 下面的 $N_T (N_F+1) \times 1$ 矢量, $\underline{\mathbf{x}}$, 由以下元素定义:

$$x_{(m-1)(N_F+1)+n} = \varepsilon_m(n); 1 \leq m \leq N_T; 1 \leq n \leq N_F$$

$$x_{m(N_F+1)} = B_m; 1 \leq m \leq N_T$$

(5)

下面的 $N_T (N_F+1) \times 1$ 矢量函数, $\underline{\mathbf{F}}(\underline{\mathbf{x}})$, 由以下元素定义:

$$F_{(m-1)(N_F+1)+n}(\underline{\mathbf{x}}) = \max \left[\left(x_{m(N_F+1)} - \frac{1}{\Gamma_m(n)} \right), 0 \right] - x_{(m-1)(N_F+1)+n}; 1 \leq m \leq N_T; 1 \leq n \leq N_F$$

$$F_{m(N_F+1)}(\underline{\mathbf{x}}) = \sum_{n=1}^{N_F} x_{(m-1)(N_F+1)+n} - E_m; 1 \leq m \leq N_T$$

(6)

解矢量, $\underline{\mathbf{x}}$, 是其值满足 $\underline{\mathbf{F}}(\underline{\mathbf{x}}) = \underline{\mathbf{0}}$ 的矢量, 其中 $\underline{\mathbf{0}}$ 是 $\underline{\mathbf{0}}$ 的 $N_T (N_F+1) \times 1$ 阶矢量。

在过程 200 中, 步骤 201 至 206 建立对解矢量的一个初始假设。接下来的步骤, 207 至 217, 被迭代, 直至得到一个解矢量, 使得误差小于某个具体的误差准则: $\|\underline{\mathbf{F}}(\underline{\mathbf{x}})\|^2 < E_{max}$ 。这些步骤是一种将用于解决非线性等式的牛顿-哈夫逊方法应用与本问题的解决的方法。1992年由剑桥大学出版社所出版的由 Willian H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian T. Flannery 所著的参考资料[4] “Nmerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing” 将有助于理解牛顿-哈夫逊方法。该解还要求计算 $\underline{\mathbf{F}}(\underline{\mathbf{x}})$ 的雅可比行列式, $\underline{\mathbf{J}}(\underline{\mathbf{x}})$, 它是 $\underline{\mathbf{F}}(\underline{\mathbf{x}})$ 对于元素 $\underline{\mathbf{x}}$ 的偏导数矩阵。如下地给出雅可比矩阵 $\underline{\mathbf{J}}(\underline{\mathbf{x}})$ 的元素:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial F_{(m-1)(N_F+1)+n}(\mathbf{x})}{\partial x_{(i-1)(N_F+1)+j}} &= 0; 1 \leq j \neq n \leq N_F; 1 \leq m, i \leq N_T \\
\frac{\partial F_{m(N_F+1)}(\mathbf{x})}{\partial x_{(m-1)(N_F+1)+j}} &= 1; 1 \leq j \leq N_F; 1 \leq m \leq N_T \\
\frac{\partial F_{(m-1)(N_F+1)+n}(\mathbf{x})}{\partial x_{m(N_F+1)}} &= \begin{cases} 1; x_{m(N_F+1)} - \frac{1}{\Gamma_m(n)} > 0 \\ 0; x_{m(N_F+1)} - \frac{1}{\Gamma_m(n)} \leq 0 \end{cases}; 1 \leq n \leq N_F; 1 \leq m \leq N_T \\
\frac{\partial F_{m(N_F+1)}(\mathbf{x})}{\partial x_{m(N_F+1)}} &= 0; 1 \leq m \leq N_T \\
\frac{\partial F_{(m-1)(N_F+1)+n}(\mathbf{x})}{\partial x_{(m-1)(N_F+1)+n}} &= -1; 1 \leq n \leq N_F; 1 \leq m \leq N_T \\
\frac{\partial F_{(m-1)(N_F+1)+n}(\mathbf{x})}{\partial x_{(i-1)(N_F+1)+n}} &= \begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x_{(i-1)(N_F+1)+n}} \left(\frac{1}{\Gamma_m(n)} \right); & x_{m(N_F+1)} - \frac{1}{\Gamma_m(n)} > 0 \\ 0; & x_{m(N_F+1)} - \frac{1}{\Gamma_m(n)} \leq 0 \end{cases} \\
&\quad 1 \leq i \neq m \leq N_T; 1 \leq m \leq N_F
\end{aligned}
\tag{7}$$

其中

$$\frac{\partial}{\partial x_{(i-1)(N_F+1)+n}} \left(\frac{1}{\Gamma_m(n)} \right) = \frac{\left| \mathbf{h}_m^H(n) \left[N_0 \mathbf{I} + \sum x_{(\ell-1)(N_F+1)+n} \mathbf{h}_\ell(n) \mathbf{h}_\ell^H(n) \right]^{-1} \mathbf{h}_m(n) \right|^2}{(\Gamma_m(n))^2}$$

(8)

一开始, 在步骤 201, 相同的能量级别被分配给每个发送天线的每个 OFDM 频率区段, 即, $\varepsilon_m(n) = \frac{E_m}{N_F}$; $1 \leq m \leq N_T$; $1 \leq n \leq N_F$ 。在步骤 202, 用步骤 201 中所计算的 $\varepsilon_m(n)$ 值根据等式 (4) 计算在每个天线 m ($1 \leq m \leq N_T$) 处的每个 OFDM 频率区段 n ($1 \leq n \leq N_F$) 的信噪比 (用 $\Gamma_m(n)$ 表示)。

在步骤 203, 使用步骤 202 中所计算出的 $\Gamma_m(n)$ 值计算每个发送天线 m ($1 \leq m \leq N_T$) 和每个 OFDM 频率区段 n ($1 \leq n \leq N_F$) 的一组区段能量 $\varepsilon_m(n)$ 以及对于每个发送天线 m ($1 \leq m \leq N_T$) 的注水参数 B_m 以满足等式 (3) 中所给出的注水等式。 B_m 和 $\varepsilon_m(n)$ 的值可以按照图 3 所示过程来计算。

在步骤 204, 使用步骤 203 中所计算出的 B_m 和 $\varepsilon_m(n)$ 值根据等式 (5) 中

所描述的关系计算一个初始解矢量 $\underline{x}_{old}$ 。

在步骤 205, 使用步骤 204 中所计算出的初始解矢量 $\underline{x}_{old}$ 根据等式 (6) 中所描述的关系计算误差函数 $\underline{F}(\underline{x}_{old})$ 。

在步骤 206, 计算一个误差量值 E_{old} 。该误差量值 E_{old} 可以等于误差函数 $\underline{F}(\underline{x}_{old})$ 的平方: $E_{old} = \left\| \underline{F}(\underline{x}_{old}) \right\|^2$ 。在步骤 207, 根据等式 7 和 8 所描述的关系计算雅可比行列式 $\underline{J}(\underline{x}_{old})$ 。一个非线性函数的雅可比行列式可以被用来解一个大矩阵中的一个非线性等式系统。在步骤 208, 可以确定一个修正矢量 $\underline{\alpha x}$ 和一个步进乘因子 α 。通过从等式 $\underline{\alpha x} = -(\underline{J}(\underline{x}_{old}))^{-1} \underline{F}(\underline{x}_{old})$ 求解修正矢量 $\underline{\alpha x}$, 可以计算出该修正矢量。步进乘因子 α 的值可以以这样一种方式来确定, 即, 保证与解矢量的更新相关的误差量值 E_{new} 小于 E_{old} 。一种确定步进乘因子的方法是 $\alpha = \min\left(1, \frac{1}{\max(|\underline{\alpha x}|)}\right)$, 其中 $\max(|\underline{\alpha x}|)$ 是 $\underline{\alpha x}$ 的最大量值。

在步骤 209, 根据旧的解矢量 $\underline{x}_{old}$ 和修正因数 $\underline{\alpha x}$ 以及步进乘因子 α 计算出新的解矢量 $\underline{x}_{new}$ 。新的解矢量 $\underline{x}_{new}$ 可以根据 $\underline{x}_{new} = \underline{x}_{old} + \alpha \underline{\alpha x}$ 来计算。在步骤 210, 根据新的解矢量 $\underline{x}_{new}$ 来计算新的误差量值 E_{new} 。在步骤 211, E_{new} 与系统所允许的最大误差量值 E_{max} 进行比较。 E_{max} 的值可以预先选定。若在步骤 211, E_{new} 的值小于 E_{max} , 则解矢量 $\underline{x}_{new}$ 保持为区段能量组 $\varepsilon_m(n)$ ($1 \leq m \leq N_T$; $1 \leq n \leq N_F$) 和注水参数 B_m ($1 \leq m \leq N_T$) 的可接收值。若 E_{new} 的值大于可允许的 E_{max} , 则计算的值误差在一个不可接受的范围。

在步骤 212, E_{new} 的值与 E_{old} 的值进行比较。若 E_{new} 的值小于 E_{old} 的值, 则在步骤 213, 旧的解矢量 $\underline{x}_{old}$ 被设置成等于新的解矢量 $\underline{x}_{new}$ 的值, E_{old} 的值被设置成等于 E_{new} 的值。在步骤 217, 根据步骤 213 所确定的解矢量 $\underline{x}_{old}$ 计算误差函数 $\underline{F}(\underline{x}_{old})$ 的值。过程从步骤 217 返回至步骤 207。在从步骤 217 返回至步骤 207 后, 根据步骤 217 所确定的 $\underline{F}(\underline{x}_{old})$ 的值来确定 $\underline{x}_{old}$ 的雅可比行列式。

在步骤 212, 若 E_{new} 的值大于 E_{old} 的值, 则过程返回至步骤 214。在步骤 214, 步进乘因子 α 的值与步进乘因子的最小值 α_{max} 进行比较。若步进乘因子 α 大于该最小值, 则在步骤 215 确定步进乘因子 α 的一个新值。根据一个实施例, 该新值比旧值小一个因子 “k”, 其中 “k” 大于 1。过程返回至步骤 209 来根据新的步进乘因子 α 计算一个新的 $\underline{x}_{new}$ 。在步骤 214, 若该步进乘因子 α 小于该最小值, 则在步骤 216, $\underline{x}_{old}$ 的值被设置为 $\underline{x}_{new}$ 的值, 而 E_{old} 的值被设置为一个很

大的值。过程从步骤 216 返回至步骤 207。该过程可以重复多次，直至在步骤 211 误差量值小于一个最大误差量值。解矢量 $\mathbf{x}_{\text{new}}$ 的最后值保持了区段能量组 $\epsilon_m(n)$ ($1 \leq m \leq N_T$; $1 \leq n \leq N_F$) 以及注水参数 B_m ($1 \leq m \leq N_T$)。

步骤 203 中所计算的区段能量组 $\epsilon_m(n)$ ($1 \leq m \leq N_T$; $1 \leq n \leq N_F$) 以及注水参数 B_m ($1 \leq m \leq N_T$) 的初始假设值可以根据图 3 所示流程图 300 的过程来计算。该过程对每个发送天线 m ($1 \leq m \leq N_T$) 重复一次。在发送天线 m 处的 OFDM 码元可用的总能量 E_m 是已知的。每个 OFDM 码元具有 N_F 个频率区段。在步骤 301, B_m 的值被初始化地设置成等于每个天线处可用的总能量的值 E_m 。在步骤 302, 从过程 200 的步骤 202 中所计算的 $\Gamma_m(n)$ 值 ($1 \leq n \leq N_F$) 建立一个矢量 $G_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$)，这是通过将它们按照量值降序排列来实现的。矢量 $G_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 的第一个值 $G_m(1)$ 具有 $\Gamma_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 的最大值，而矢量 $G_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 的最后一个值 $G_m(N_F)$ 具有 $\Gamma_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 的最小值。在步骤 303, 可以定义一个序数矢量, $I_m(n)$, 来交叉引用矢量 $G_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 和 $\Gamma_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 之间的公共元素, 使得 $\Gamma_m(I_m(n)) = G_m(n)$ 。在步骤 304, 与天线 m ($1 \leq m \leq N_T$) 相关的一个变量 S_m 被设置为 0。在步骤 305, 对 OFDM 频率区段 n ($1 \leq n \leq N_F$), 排序后的区段能量矢量 $\epsilon_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 的元素被设为 0。从步骤 306 开始, 在步骤 307 结束, 形成一个迭代循环 399。迭代循环 399 中, 变量 ℓ 从 1 变化值 N_F 。在步骤 399a, 根据 $s_m = s_m + \frac{I}{G_m(\ell)}$ 更新 S_m 。在步骤 399b, 根据 $B_{\text{temp}} = \frac{E_m + S_m}{I}$ 设置变量 B_{temp} 。在步骤 399c, 若 $B_{\text{temp}} - \frac{I}{G_m(\ell)}$ 大于 0, 在步骤 399cii, B_m 被设置为 B_{temp} 。在步骤 399cii, 循环 399 开始 $i=1$ 至 ℓ 的循环。在步骤 388-1, 根据 $e_m(i) = B_m - \frac{I}{G_m(i)}$ 设置 $e_m(i)$ 。循环 388 在步骤 399ciii 结束。在步骤 399c, 若 $B_{\text{temp}} - \frac{I}{G_m(\ell)}$ 小于等于 0, 则迭代循环 399 结束。一旦该过程在步骤 307 完成, 对所有 OFDM 频率区段 n ($1 \leq n \leq N_F$), 根据 $\epsilon_m(I_m(n)) = e_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 来设置区段能量的初始假设, $\epsilon_m(i)$ 。此过程中所确定的 B_m 和 $\epsilon_m(n)$ ($1 \leq n \leq N_F$) 值在过程 200 步骤 203 中被使用。

图 4 是能够实施本发明各方面和实施例的 MIMO 通信系统 400 的示意图。系统 400 包括第一系统 410 (如图 1 中的基站 104), 它与第二系统 450 (如, 终端 106) 进行通信。系统 400 可以采用天线、频率和时间分集性的组合来提

高频谱有效性、改进性能和增强灵活性。在系统 410 处，数据源 412 提供数据（即，信息比特）到发送（TX）数据处理器 414，它（1）根据特定编码方式编码数据，（2）根据特定交织方式来交织（重排序）编码的数据，（3）将交织后的比特映射入用于一个或多个选择用于数据的传输信道的调制码元中。编码提高了数据传输的可靠性。交织为编码的比特提供了时间分集性，使得能够根据选定传输信道的平均 SNR 来发送数据，对抗衰落，并进一步除去了用来形成每个调制码元的编码比特间的相关性。若编码的比特在多条频率子信道上被发送，交织还可以提供频率分集性。在一个方面，可以根据控制器 434 所提供的控制信号来进行编码和码元映射。TX 信道处理器 420 为每个选定的传输信道分配功率级别，并为每个传输信道提供调制码源流（每个时隙一个调制码元）。对每个选定的传输信道的被分配的发送功率将在接收机系统处实现一个希望的 SNR。在一个方面，可以根据控制器 434 所提供的控制信号来进行功率分配。区段能量组 $\varepsilon_m(n)$ ($1 \leq m \leq N_T$; $1 \leq n \leq N_F$) 和每个天线的所有区段的总能量 E_m 是信道功率分配的基础。调制器 422 对每个信号进行调制，以从天线进行发送。

在接收机系统 450，多个接收天线 452 接收被发送的信号，并将接收到的信号提供到各个解调器（DEMOD）454。每个解调器 454 进行与解调器 422 所执行的过程相互补的过程。来自所有解调器 454 的调制码元被提供给接收（RX）信道/数据处理器 456，并恢复被发送的数据流。RX 信道/数据处理器 456 进行与 TX 数据处理器 414 以及 TX 信道处理器 420 所执行的过程相互补的过程，并提供解码的数据给数据汇 460。

在系统 410，发送的反馈信号被天线 424 接收、被解调器 422 解调并被提供到 RX 数据处理器 432。RX 数据处理器 432 进行与 TX 数据处理器 462 所执行的过程相互补的过程，并恢复报告的 CSI，CSI 随后被提供至控制器 434。

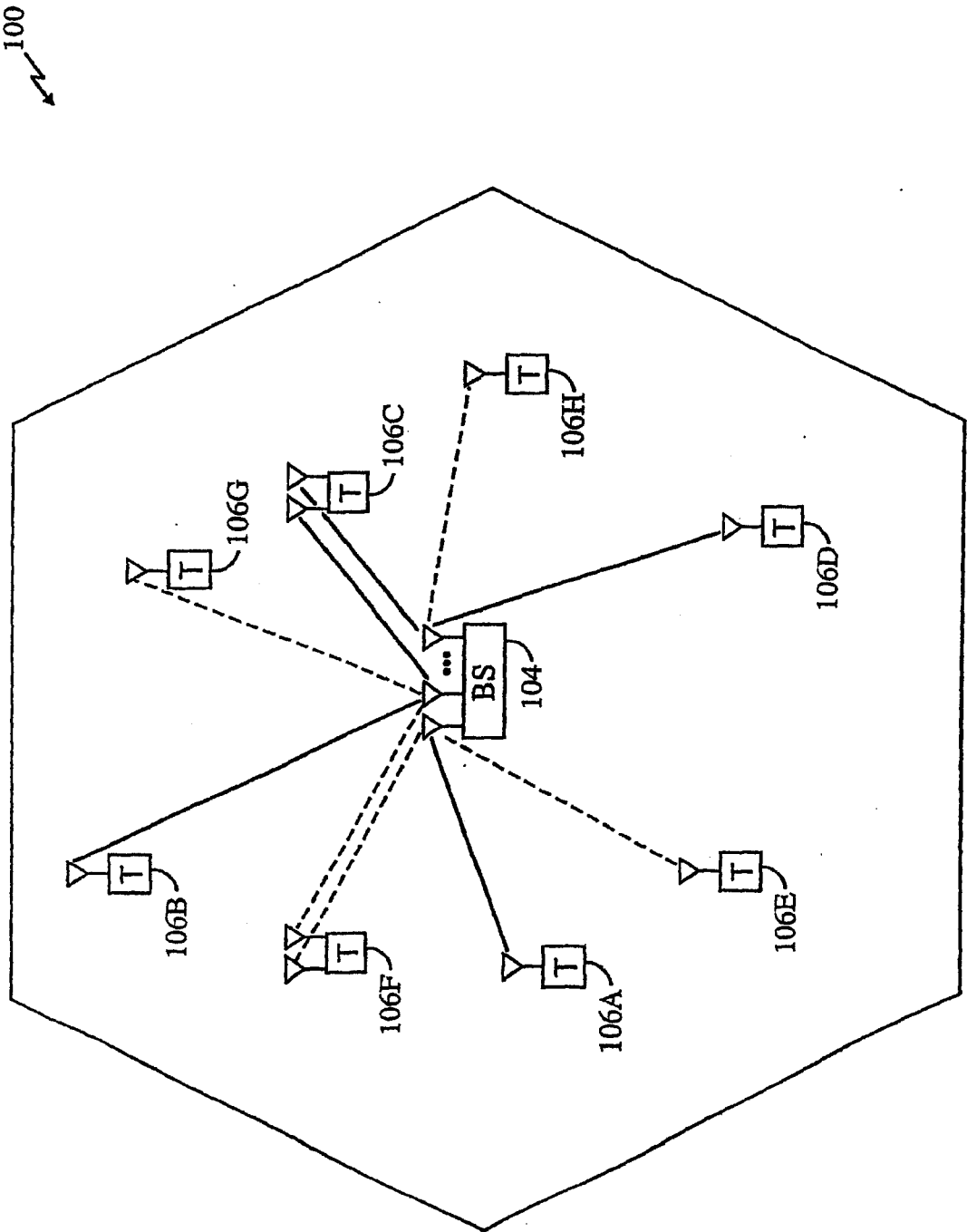
控制器 434 使用报告的 CSI 来执行多个功能，包括：（1）选择可用于数据传输的 N_s 个最好的传输信道的集合，（2）确定将在选定的传输信道上用来传输数据的编码和调制方式，以及（3）确定对选定的传输信道分配的功率。数据传输可用的传输信道特性（如，信道增益或接收的 SNR）可以根据已经描述的各种技术来确定，并被提供给发射机系统。

这里所描述的技术可以被用于在从基站的到一个或多个终端的下行链路

上所进行的数据传输，还可以被用于在从一个或多个终端到基站的上行链路上所进行的数据传输。对于下行链路，发射机系统 410 可以代表基站部分，而接收机系统 450 可以代表终端部分。对于上行链路，发射机系统 410 可以代表终端部分，而接收机系统 450 可以代表基站部分。

发射机和接收系统的元件可以由一个或多个数字信号处理器（DSP）、专用集成电路（ASIC）、处理器、微处理器、控制器、微控制器、现场可编程门阵列（FPGA）、可编程逻辑器件、其它电子单元或者它们的任意组合来实现。这里所描述的某些功能和处理还可以用处理器上所执行的软件来实现。本发明某些方面还可以用软件和硬件的组合来实现。

以上提供了对所揭示的实施例的描述，以使得本领域普通技术人员能够实现或使用本发明。本领域普通技术人员将容易明了对这些实施例可能的各种修改，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，这里的普通原理可以被应用于其他实施例。因此，本发明并不限制于这里所描述的实施例，而应该根据与这里所揭示的原理和新特征相一致的最广范围而定。



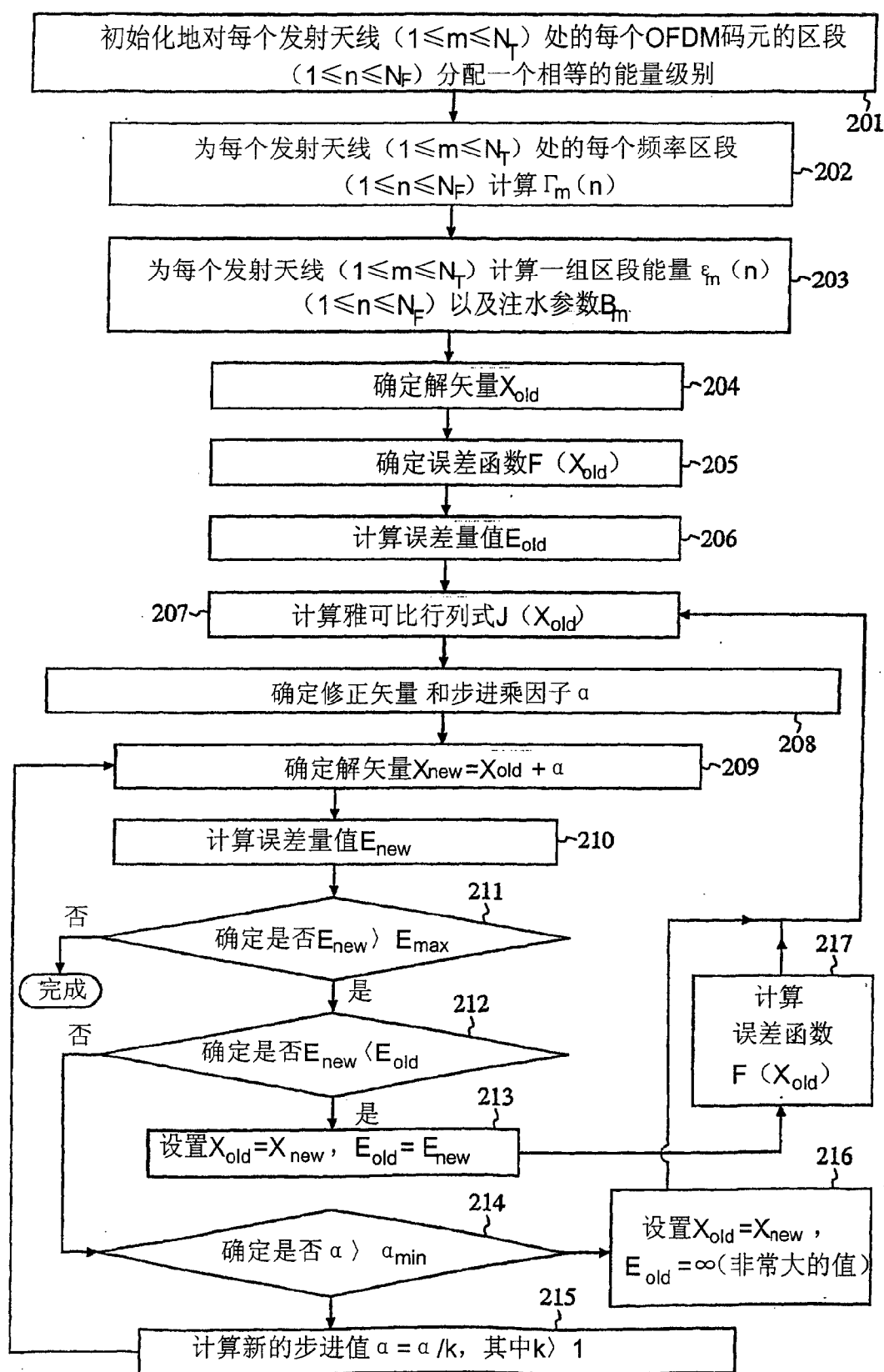


图 2

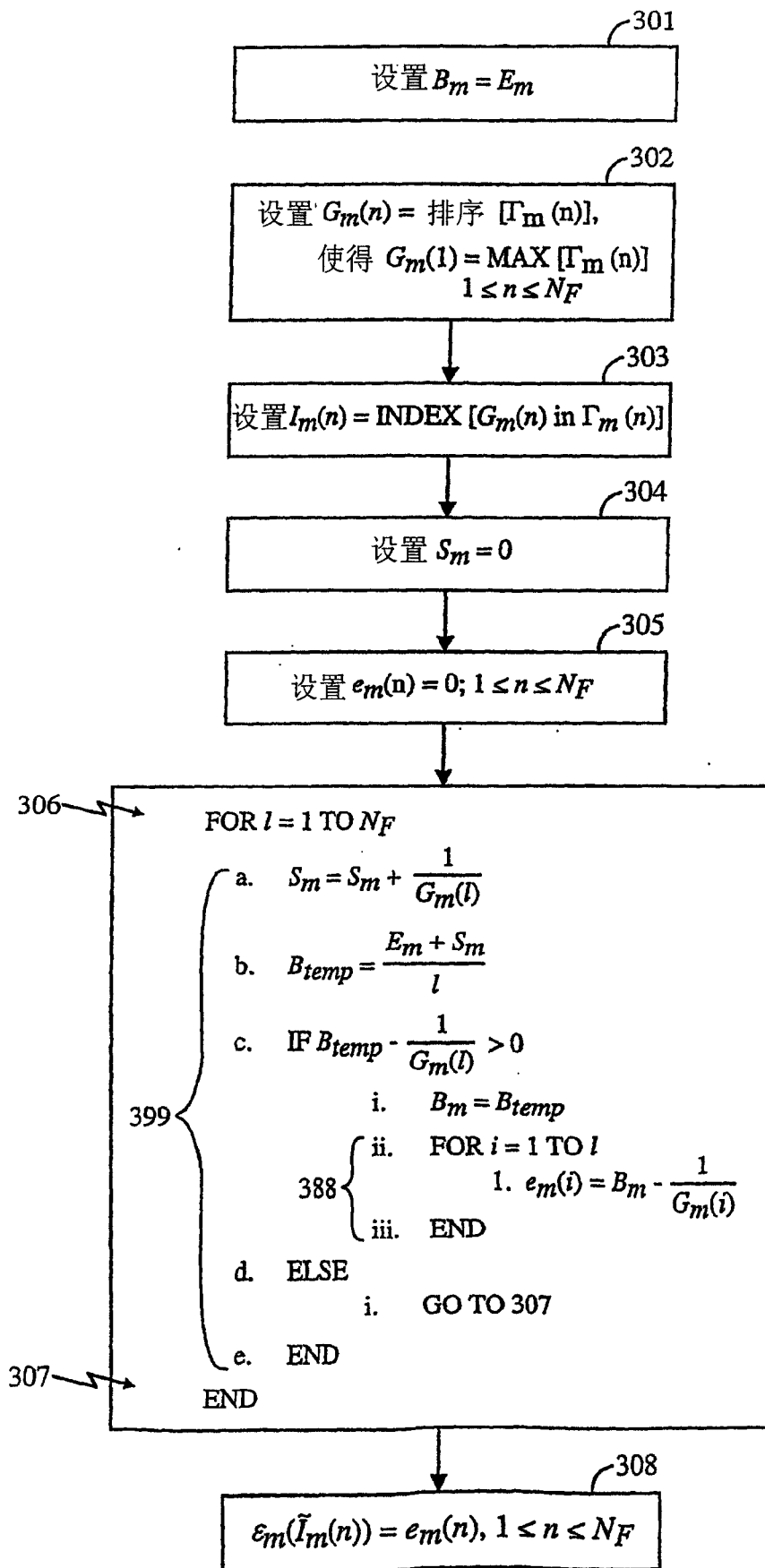


图 3

