

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710149688.X

[43] 公开日 2008 年 2 月 20 日

[51] Int. Cl.

H04L 27/26 (2006.01)

H04L 5/02 (2006.01)

H04L 1/06 (2006.01)

[22] 申请日 2004.11.15

[21] 申请号 200710149688.X

分案原申请号 200410075863.1

[30] 优先权

[32] 2003.11.13 [33] KR [31] 80351/03

[71] 申请人 三星电子株式会社

地址 韩国京畿道

共同申请人 韩国科学技术院

[72] 发明人 金应善 李钟赫 郑在学 金虎辰
全柱桓 李京天 金一汉

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 邵亚丽

[11] 公开号 CN 101127752A

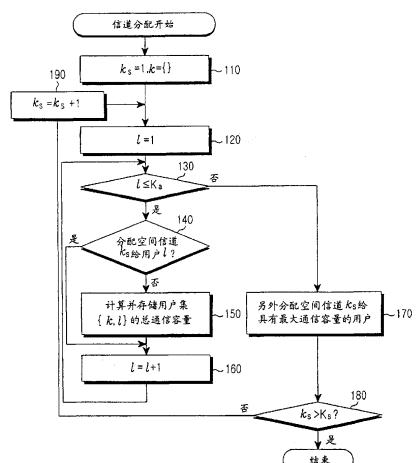
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 7 页

[54] 发明名称

正交频分复用系统中基于空分复用来分配信道的方法

[57] 摘要

一种在具有多个发射/接收天线的利用 SDM(空分复用)的 OFDM(正交频分复用)系统中将单个频率子信道分配给多个 MS(移动台)的方法。在该方法中，BS(基站)能够有效地分配导频信道来估计下行信道。所述 BS 将单个频率子信道分成多个空间信道，并将所述多个空间信道顺序地分配给具有最大通信容量的 MS，从而通过所述单个频率子信道发射 MS 的信号。



1. 一种在 OFDM (正交频分复用) 系统中，从 BS (基站) 发射导频信号到多个 MS (移动台) 以便所述多个 MS 估计下行信道的方法，所述 OFDM 系统包括分别具有 N_r 个接收天线的所述多个 MS 和具有 N_T 个发射天线的 BS，其中 N_T 至少等于 N_r ，该方法包括：

选择包括预定数量个序列的 K 个导频矩阵，所述序列是从包括具有正交导频长度 L 的 L 个导频序列的 $L \times L$ 正交矩阵中选择的，以便所述导频矩阵最小程度地相互重叠；和

把所述 K 个导频矩阵分配给 k 个 MS。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中，把所述 K 个导频矩阵分配给 k 个 MS 的步骤包括：根据时间在 MS 之间交换和分配所述导频矩阵。

3. 如权利要求 2 所述的方法，其中，当在 L 个导频序列中的导频长度 L 大于预定长度时，产生包括不同序列的 K 个导频矩阵，并且把所产生的 K 个导频矩阵分配给 k 个 MS，以便所述矩阵不会相互重叠。

4. 如权利要求 2 所述的方法，其中，当在 L 个导频序列中的导频长度 L 小于预定长度时，产生包括不同序列的 K 个导频矩阵，并且把所产生的 K 个导频矩阵分配给 k 个 MS，以便最小化在所述矩阵之间的重叠。

5. 如权利要求 4 所述的方法，其中，当在所述导频序列中的导频长度 L 小于预定长度时，使用单位空时编码矩阵产生包括不同序列的 K 个导频矩阵，并且把所产生的 K 个导频矩阵分配给 k 个 MS，以便所述矩阵不会相互重叠。

6. 如权利要求 2 所述的方法，其中，所述 $L \times L$ 正交矩阵是单位空时编码矩阵。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其中，所述单位空时编码矩阵是 Hadamard 矩阵和 DFT (离散傅立叶变换) 矩阵之一。

正交频分复用系统中基于空分复用来分配信道的方法

本申请是如下专利申请的分案申请：

申请日：2004年11月15日

申请号：200410075863.1

发明名称：正交频分复用系统中基于空分复用来分配信道的方法

技术领域

本发明涉及一种在具有多个发射和/或接收天线的移动通信系统中分配导频信道来估计下行信道的方法。

背景技术

由于基于 CDMA（码分多址）和 TDMA（时分多址）的传统移动通信系统，是被开发以主要提供话音业务的系统。因此，它们不能为用于提供高质量多媒体业务的下一代移动通信系统作准备。

因此，存在对能够有效利用有限频率资源来提供多媒体业务的技术的需求。作为下一代移动通信技术，对于移动通信系统的 OFDM（正交频分复用）技术是值得注意的，因为基于 OFDM 技术的移动通信系统能够在用于通过副载波频率或副载波—称之为频率子信道—来发射高速信号的并行结构中，支持高数据传输速率。该频率子信道是正交的以防止相互之间的干扰。为了最小化频谱间隔，频率子信道频谱被以重叠的状态进行发射。

在从基于 OFDM 技术的移动通信系统中分离出来的基于 MIMO(多输入多输出)的移动通信系统中，发送方包括多个天线，并分配不同的数据到各个天线来发送所分配的数据，从而提高数据传输速率。

组合 OFDM 技术和 MIMO 技术的移动通信系统正处于讨论之中，以便可以通过 OFDM 和 MIMO 技术来提高通信质量和数据吞吐量。然而，使用 MIMO 技术的传统 OFDM 系统仅仅考虑到只将单个频率子信道分配给单个 MS (移动台)。因此，传统 OFDM 系统具有一个缺点，即因为每一个频率子信道被分配给每一个 MS 并且每一个 MS 具有一个天线，从而限制了射束形成和空时编码。因为当天线数量增加到超过预定数量时，将出现系统性能不能进一步被提高的饱和现象，所以还存在另一个缺点，即，即使 MS 具有至

少一个天线，也会限制总通信容量。

在基于 MIMO 技术的 OFDM 系统中，当 BS（基站）天线的数量相对接近于 MS 天线的数量时，可以确保最大通信容量。然而，在实际环境中，MS 可以安装有与 BS 相比较少数量的天线。例如，BS 可以具有大量的天线，而 MS 具有 4 个或更少的天线。

因此，基于 MIMO 技术的 OFDM 系统存在许多问题。例如，存在这样一个问题，即，不管 BS 的天线数量如何，整个系统的通信容量受相应 MS 的天线数量所限制。也就是说，当 BS 天线的数量明显大于 MS 天线的数量时，传统 OFDM 系统是不适合的。

而且，由于仅仅将单个频率子信道分配给单个 MS，还存在另一个问题。也就是说，由于 MS 具有单个天线，所以不能基于 MS 的通信容量来有效地分配单个频率子信道。

发明内容

因此，本发明是设计来解决在现有技术中发生的上述和其它的问题的。因此，本发明的一个目的是提供一种在基于 SDM（空分复用）的具有多个发射/接收天线的 OFDM（正交频分复用）系统中将单个频率子信道分配给多个 MS（移动台）的方法。

本发明的另一个目的是提供一种方法，BS（基站）能够利用该方法在基于 SDM 的 MIMO-OFDM 系统中有效地分配导频信道来估计下行信道。

根据本发明的第一实施例，上述和其它目的能够通过如下方法来实现，即，在使用多个频率子信道来发送数据的 OFDM 系统中，从包括多个发射天线的 BS 到分别包括多个接收天线的 MS 来分配空间信道的方法。该方法包括：分配多个空间信道给每一个频率子信道；和在一个接一个将分配给每个子信道的空间信道分配给 MS 的同时，顺序地选择能够最大化所述空间信道的总通信容量的 MS。

根据本发明的第二实施例，上述和其它目的可以通过如下方法来实现，即，在 OFDM 系统中从 BS 发射导频信号到多个 MS 以便多个 MS 可以估计下行信道的方法，所述 OFDM 系统包括分别具有 N_r 个接收天线的多个 MS 和具有 N_T 个发射天线的 BS，其中 N_T 至少等于 N_r 。该方法包括：选择 K 个包括预定数量个序列的导频矩阵，所述序列是从包括具有正交导频长度 L 的

数量 L 个导频序列的 $L \times L$ 正交矩阵中选出的，以便这些导频矩阵最低限度地相互重叠；和分配 K 个导频矩阵给 k 个 MS。

附图说明

从下面结合附图的详细描述中，将更加清楚地理解本发明的上述和其它目的、特点和优点，其中：

图 1 示意性图示了根据本发明的基于 SDM(空分复用)的移动通信系统；

图 2 是显示根据本发明的用于执行基于 SDM 的信道分配算法的过程的流程图；

图 3 是显示根据本发明的基于信道分配算法的通信容量的曲线图；

图 4 是显示根据本发明的当使用信道分配算法时的 BER (比特误码率) 的曲线图；

图 5 显示了根据本发明的分配导频信道的过程；

图 6 显示了根据本发明的基于 SDM 的分配导频信号的过程；

图 7A 和 7B 显示了根据本发明的导频信道分配性能。

具体实施方式

下面将参考附图详细描述本发明的优选实施例。在下面的描述中，将省略在此所包括的已知功能和配置的详细描述，以防模糊本发明的主题。

本发明建议了在基于 MIMO (多输入多输出) 技术的 OFDM (正交频分复用) 系统中，一种在利用 SDM (空分复用) 技术来空间复用不同 MS 信号的同时增加有限通信容量的方案。简要地说，本发明的第一实施例建议了一种当使用 SDM 技术分配单个频率子信道到 MS 时、与共享该单个频率子信道的 MS 的数量成比例地增加整个系统的通信容量的方案。即，单个 BS 空间复用不同的 MS 信号，并且 MS 使用 SDM 技术共享同一频率和时间频带。本发明的第二实施例建议了一种在基于 MIMO 技术的 OFDM 系统中、当 BS 向下行链路执行信道分配时、用于估计下行信道的最优化算法和有效导频信道分配过程。

第一实施例

图 1 示意性地图示了根据本发明的利用 SDM (空分复用) 的移动通信系统。参考图 1，在该移动通信系统中，BS 10 使用多个发射天线 11、12 和 19

将单个频率子信道分配给多个 MS。从而，所有 MS 20、30、40 等共享同一频率和时间频带，并同时使用不同空间的信道。这里，从多个发射天线到多个接收天线的信道是指空间信道。

在图 1 中，假设共享 BS 10 的单个频率子信道的 MS 的数量是 K，并且 BS 天线的数量是 N_t 。在这种情况下，假设第 k^{th} 个 MS 的天线的数量是 $N_{r,k}$ 。BS 10 和第 k^{th} 个 MS 之间的通过单个频率子信道的信道脉冲响应的特点可以通过 $N_{r,k} \times N_t$ 矩阵 H_k 来表示。在共享单个频率子信道的 MS 之间的信号必须不能相互干扰。当在 MS 之间出现干扰时，发射信号的可靠性就会降低，并也降低了通信的容量。因此，当 BS 10 发射信号时，它将零矩阵 W_k 乘以要发射的信号以便消除在 MS 之间的干扰。该零矩阵 W_k 被用来将除了第 k^{th} 个 MS 外的 (K-1) 个剩余 MS 的所有信道分配到零空间。零矩阵 W_k 被定义为 $N_{r,k} \times \bar{N}_{t,k}$ 酉矩阵，其中 $\bar{N}_{t,k} = N_t - \sum_{l \neq k} N_{r,l}$ 。

整个零矩阵 W_k 可以通过执行与 (K-1) 个 MS 的信道特性相关的 SVD (奇异值分解) 以便确定零空间来获得。当要从 BS 发射到第 k^{th} 个 MS 的信号被记为具有 $\bar{N}_{t,k} \times 1$ 大小的向量 x_k 的形式时，第 k^{th} 个 MS 的接收信号 y_k 可以由方程(1) 表示。

$$y_k = H_k W_k x_k + n_k \quad \dots \quad (1)$$

在方程(1)中， n_k 是施加到第 k^{th} 个 MS 的接收天线上的噪声，并具有大小为 $N_{r,k} \times 1$ 的向量。当 $H_k W_k$ 被定义为 \bar{H}_k 时，方程(1)可以表示为方程(2)。

$$y_k = \bar{H}_k x_k + n_k \quad \dots \quad (2)$$

可以看出， \bar{H}_k 是第 k^{th} 个 MS 的信道特性值，而且来自其它 MS 的干扰分量被完全从单个频率子信道中消除。然而，为了使在 MS 之间的干扰完全被消除，必须满足 $N_t \geq \sum_{k=1}^K N_{r,k}$ 。即，BS 10 的发射天线数量必须大于 MS 的接收天线数量。

因此，为了执行信道分配，基于 SDM 技术的移动通信系统必须考虑共享同一频率子信道的其它 MS。当 K 个 MS 使用单个频率子信道时，由于 MS 信道相互干扰，所以会根据 SDM 产生 \bar{H}_k 。

当两个 MS 20 和 30 使用相似于单个频率子信道的信道时，很难消除在 MS 20 和 30 之间的干扰分量。如果在 MS 之间的干扰分量不能消除，那么就

严重降低了移动通信系统的总通信容量。因此，BS 10 需要使用 MS 20、30、40 等的信道信息，来确定分配了单个频率子信道的一组 MS。即，BS 10 必须通过确定分配了单个频率子信道的 MS 集（或用户集）来最大化移动通信系统的总通信容量，并且必须考虑所有频率子信道中的用户信道特性来满足每个 MS 所需的数据传输速率。

因此，一种可用的方法考虑在 MS 之间的信道相关性，以便根据 SDM 技术来分配信道。即，该方法计算在 MS（或用户）之间的信道相关性，并分配频率子信道给 MS。然而，由于基于信道相关性的方法没有考虑每个用户的数 据传输速率，所以该方法并不是最优化的算法。

另一个方法根据 SDM 技术使用每个用户的信道特性值 \bar{H}_k 来计算通信容量，并首先根据最大通信值来分配信道。实际的数据传输速率或通信容量可以稍微不同于利用该方法计算出的数据传输速率或通信容量。然而，由于数据是使用 MIMO 技术通过多个天线发射的，能够分配具有几乎最大通信容量的信道。因此，具有最大通信容量值的 MS（或用户）信道可以作为一个频率子信道被分配。具有最大通信值的 MS（或用户）被确定为 SDM 用户。

假设用户总数是 K_a ，并且根据 SDM 技术可分配的空间信道的数量是 K_s ，那么根据可能组合的用户数量可以用方程(3)来表示。

$$K_a! / [(K_a - K_s)! K_s!] \quad \dots \dots (3)$$

为了获得与最大通信容量相关联的组合，根据 SDM 技术获得每个用户信道的 \bar{H}_k ，并使用每个用户信道的 \bar{H}_k 来计算通信容量。

当用户总数增加时，组合的数量指数增加，以至于增加了实现的复杂性。因此，本发明建议了考虑所有用户集并计算通信容量的最优方法。

图 2 是显示根据本发明的用于执行基于 SDM 的信道分配算法的过程的流程图。参考图 2，频率子信道被分配给具有最大通信容量的用户集。在空间信道索引值从索引 1 起连续增加时，就获得了各个空间信道的最佳用户集。

首先，在步骤 110 中，将空间信道索引设置为初始值 $K_s = 1$ ，并且分配了空间信道的用户集被设定为 $K = \{\}$ 。在步骤 120 中，输入第一用户索引 1 ($=1$)，并在步骤 130 作出有关用户索引 1 的值是否等于或小于用户总数 K_a 的判断。如果用户索引 1 的值等于或小于用户总数 K_a ，则过程进入到步骤 140。

在步骤 140 中，确定空间信道 K_s ($= 1$) 是否已经被分配给用户 1。如果

空间信道 K_s ($= 1$) 没有分配给用户 1, 则在步骤 150 中, 将其分配给用户 1, 并且计算并存储用户 1 的空间信道 K_s 的通信容量。然而, 如果空间信道 K_s 已经被分配给用户 1, 那么过程直接进入到步骤 160。当用户索引 1 的值增加 1 时, 执行与下一个用户相关联的相应操作。

在步骤 130 中, 当用户索引 1 的值大于用户总数 K_a 时, 也就是, 当用户 1 是能够给其分配空间信道的最后一个用户时, 该过程进入到步骤 170。在步骤 170 中, BS 选择具有最大通信容量的用户, 并分配空间信道 K_s 给所选用户。这里, BS 从根据分配给属于用户总数 K_a 中的所有用户的空间信道计算出的通信容量中选择具有最大通信容量的用户, 并且将空间信道 K_s 分配给所选用户。

在步骤 180 中, BS 确定空间信道索引 k_s 是否大于空间信道总数 K_s , 也就是, 当前信道是否是最空间信道。如果空间信道索引 k_s 等于或小于空间信道的总数 K_s , 那么过程进入到步骤 190。在步骤 190 中, 当空间信道索引的值增加 1 时, 重复步骤 120 到 160。即, 获得分配了后续空间信道的具有最优化通信容量的用户集。

然而, 如果空间信道索引 k_s 大于空间信道总数 K_s , 那么把可分配的空间信道分配给所有具有最优化通信容量的用户, 如此完成信道分配过程。

如上所述, 当只出现单个空间信道时, 选择具有最大通信容量的用户, 并比较所选用户的最大通信容量和所有 MIMO 信道的通信容量。在选择第一用户时, 空间信道索引增加 1 的同时, 具有相应索引的空间信道被分配给在已经选择的用户的集合中的、能够最大化所有空间信道的总通信容量的另一个用户。当另一个用户被添加到在第 k_s^t 个空间信道的已经选择的 $k-1$ 个用户中时, 选择能够最大化总通信容量的用户。在上述方法中, 能够通过使用被减少的当针对数量 ($\sum_{k=1}^K K_a - k + 1$) 个用户来计算总体最优化的通信容量时所需的计算次数, 来将 SDM 用户集分配给单个子信道。

由于分配了频率子信道的 MS 被选择以满足相应频率子信道的总通信容量, 所以每个 MS 或用户的通信容量可能没有得到满足。因此, 需要信道再分配过程来满足每个 MS 或用户的通信容量。

当一个用户被已分配空间信道的用户集 $\{k_1, k_2, \dots, k_K\}$ 中的另一个用户代替时, 可以将空间信道分配给另一个用户。即, 为了最优化总通信容量,

用户 k_n 被分配了空间信道的用户集 $\{k_1, k_2, \dots, k_K\}$ 中的另一个用户 \bar{k}_n 代替。上述过程继续进行直到通信容量不能再进一步增加为止。

在最优化通信容量的过程中，首先，计算基于所有频率子信道分配给每个 MS 的通信容量 C_k 。然后，计算在发射 MS 数据所需的通信容量 \bar{C}_k 和所分配的通信容量 C_k 之间的差值 $\Delta C_k (= C_k - \bar{C}_k)$ 。当通信容量差 ΔC_k 是负值时，识别具有最小负值的 MS。用 \bar{k} 来表示与最小 ΔC_k 值相关联的 MS。由于 MS \bar{k} 所需的通信容量大于已分配的通信容量，因此，MS \bar{k} 需要另外的频率子信道。从而，BS 必须用 MS \bar{k} 的空间信道代替不同 MS 的空间信道，来满足 MS \bar{k} 的通信容量。然而，排除了分配给 MS \bar{k} 的先前的频率子信道。

因此，为了选择 MS \bar{k} 的最佳频率子信道，再次计算信道的信道特性值 \bar{H}_k ，不包括分配给 MS \bar{k} 的频率子信道，并且再次使用 \bar{H}_k 计算 MS 的通信容量。即，再次计算通信容量差 $\Delta C_k (= C_k - \bar{C}_k)$ ，并且存储通信容量差的最小值。当频率子信道的数量是 M 并且已经分配给 MS \bar{k} 的频率子信道的数量是 $\bar{M}_{\bar{k}}$ 时，根据 $(M - \bar{M}_{\bar{k}}) \cdot K$ 来计算通信容量差。为每个频率子信道选择通信容量差的最小值。

选择与数量 $(M - \bar{M}_{\bar{k}})$ 个频率子信道的最小通信容量值中的最大值相关联的用户 k ，并且把相应频率子信道的空间信道分配给 MS \bar{k} 。重复上述过程直到满足每个 MS 的通信容量为止。即，当所有通信容量差值 ΔC_k 为正时，确定已经满足所有 MS 的通信容量。在此，结束信道的再分配过程。

图 3 显示了根据本发明的基于信道分配算法的通信容量。参考图 3，假设在 BS 中的发射天线的数量 N_r 是 10，并且所有 MS 都具有相同数量的接收天线 $N_{r,k}$ ，即，2。在这种情况下，空间信道的数量 K_s 是 5，并且 MS 的总数 K_a 是 15。此外，假设在不使用 MS 的信道信息时，BS 使用通信容量 $C_{k,0}$ 。信道特性矩阵 H_k 的元素相互独立，而且是平均值为 0 和方差值为 1 的正态分布的概率状态变量。

在图 3 中，x 轴表示总发射功率噪声功率比 ρ ，并且 y 轴表示所有 MS 的通信容量总和。这里， ρ 由发射端确定为 SNR（信噪比）。

图 3 显示了当产生并相互比较所有可能用户集的通信容量总和时，具有最大通信容量总和的最佳用户集。即，该最佳用户集具有针对所有用户的通信容量总和的最大值。为了产生这样的最佳用户集，需要大量的计算。

在图 3 中，迭代 1 显示了基于图 2 显示的算法设置用户集来分配空间信

道的例子。即，分配任意的空间信道给用户，并针对数量 ($\sum_{k=1}^K K_a - k + 1$) 的剩余用户—不包括该用户—来计算最优化通量容量，以便基于所计算的通信容量分配频率子信道给 SDM 用户。当比较根据迭代 1 的 SDM 用户集与最佳用户集时，两个用户集具有相似的通信容量。然而，迭代 1 在减少所需的计算数量方面是有优势的。

迭代 2 显示了通过信道再分配过程设置用户集的例子。迭代 2 具有比迭代 1 更优化的通信容量。

然而，在图 3 显示的随机用户集中，不使用信道分配算法而随机设置任意 MS 作为共享单个频率子信道的 SDM 用户集。此外，图 3 显示的最坏用户集具有最低的通信容量，并被指定为共享单个频率子信道的 SDM 用户集。

当比较如上所述的最佳用户集、迭代 1 和迭代 2 时，由本发明建议的迭代 1 中的通信容量相似于最佳用户集中的通信容量。当与最佳用户集比较时，迭代 1 在需要较少计算方面是有利的。当与迭代 1 相比时，迭代 2 在更好地优化通信容量方面是有利的。

图 4 是显示根据本发明的当使用信道分配算法时的 BER (比特误码率) 的曲线图。更具体来说，图 4 显示了基于每个 MS 所需的通信容量来指定用户集时的 BER，以及在不使用信道分配算法而随机指定任意的 MS 作为共享单个频率子信道的 SDM 用户时的 BER。

正如从图 4 中可以看出，根据本发明的基于信道再分配过程的迭代 2 具有比随机用户集更好的 BER。

第二实施例

必须消除在 MS 之间的相关性，以便在使用 SDM 的 MIM-OFDM 系统中将单个频率子信道分配到多个 MS。然而，由于在实际应用中 BS 不能正确识别每个 MS 的信道信息，因此在 MS 之间会产生信道间干扰。因此，在 MS 之间的信道间干扰降低了整个系统的接收信号的性能。

因此，BS 设置并将同样的发射功率分配给分配了同一频率子信道的 MS。当在分配给 MS 的发射功率值之间的差值较大时，MS 的较大发射功率的信号会干扰另一个 MS 的较小发射功率的信号，从而降低整个系统的性能。因此，根据 SDM，分配给分配了同一频率子信道的 MS 的所有发射值功率必须相同。

本发明第二实施例建议了一种最优化算法和有效导频信道分配过程，用来在 BS 分配下行信道时估计所分配的下行信道。

当已经设置了 BS 中的发射天线数量时，将通信容量定义为所分配的空间信道和噪声功率的函数。在这种情况下，如果 BS 没有识别出每个 MS 的信道信息，那么第 k^{th} 个 MS 的通信容量由方程(4)给出。

$$C_{k,\text{ol}} = \log_2 \det(I_{N_{r,k}} + (P/(\bar{N}_{t,k}\sigma_k^2))\bar{H}_k\bar{H}_k^H)(b/s/\text{Hz}) \quad \dots \dots (4)$$

在方程(4)中， P 是总发射功率， \bar{H}_k 是在 BS 中由 H_kW_k 定义的值，其中 H_k 是信道矩阵， W_k 是零矩阵。 $(\cdot)^H$ 代表厄密 (Hermitian) 转置， \det 代表行列式。这里， σ_k^2 是施加到接收端的噪声功率。当在正态分布中建模来自其它 MS 和相邻小区的干扰分量时， σ_k^2 是相应于噪声和干扰分量的总和的功率。使用方程(4)，BS 考虑噪声和干扰分量的功率以及空间信道来正确分配信道。

如果 MS 不反馈 σ_k^2 值给 BS，BS 就在预定时间内不发射信号来计算发射功率值，从而，估计相应 MS 的信道特性。然而，当在预定时间内没有从 BS 发射信号时，就降低了 BS 的发射效率。现在将描述根据本发明在基于 SDM 的 MIMO-OFDM 系统中通过预先分配的导频信号估计噪声/干扰功率的方法。

在基于 SDM 的 MIMO-OFDM 系统中，BS 可以发射导频信号到每个 MS，以便每个 MS 可以估计下行信道的特性。该过程与传统的基于导频的 MIMO 信道估计算法一致。为了使每个 MS 估计下行信道，BS 必须考虑在 SDM 用户集中的信道干扰来分配导频。

图 5 显示了根据本发明的分配导频信道的过程。参考图 5，BS 通过相应于矩阵的行和列的发射天线，使用任意频率子信道发射，来发射具有长度为 L 的 N_t 个导频序列的 $N_t \times L$ 导频矩阵 X_T 。每个 MS 接收相同的导频信号 X_T 。相应于第 k^{th} 个 MS 的接收信号可以由方程(5)给出。

$$Y_k = H_k X_T + N_k \quad \dots \dots (5)$$

在方程(5)中， N_k 代表干扰噪声。当计算 N_k 的元素时， $\hat{H}_k = Y_k X_T^*$ 并且 $\hat{Y}_k = \hat{H}_k X_T$ 。既然这样， N_k 成为信道估计值。与第 k^{th} 个 MS 相关联的噪声/干扰功率由方程(6)给出。

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{\|Y_k - \hat{Y}_k\|_F^2}{N_{r,k}(L - \text{tr}\{R_X\})} \quad \dots \dots (6)$$

在方程(6)中， R_x 是定义为 $R_x = X^* T X_T$ 的矩阵。 $\text{tr}\{\cdot\}$ 是矩阵的对角元素的和。使用方程(6)，在MIMO-OFDM系统中，每个MS可以通过导频信号来估计与其自身MS相关联的噪声/干扰功率。

每个MS反馈信道估计值到BS，以便BS可以更正确地通过反馈的信道估计值来计算通信容量。

当BS可以识别出每个MS的信道信息时，通信容量由方程(7)给出。

$$C_{k,cl} = \sum_{n=1}^N \log_2(\mu \lambda_n)(b/s/Hz) \quad \dots \dots (7)$$

在方程(7)中， λ_n 是 $(1/\sigma_k^2)\bar{H}_k \bar{H}_k^H$ 中的第 n^{th} 个最大特征值， μ 是满足 $P = \sum_{n=1}^N (\mu - \lambda_n^{-1})$ 的常数， $(\cdot)^+$ 代表正值，并且N是等于或小于 $N_{r,k}$ 的值。

在MS之间干扰的影响是时变的，并且当存在跳频系统中的MS时，可以在每个码元内极大地改变。在干扰影响变化很快的环境中，必须使用平均噪声/干扰值，将与分配了预定频率的相应MS相关联的干扰分量与处于跳频系统中的相邻小区的MS相关联的干扰分量区别开来。

BS确定用户集中的每个MS的初始信道中的 H_k 改变为 \bar{H}_k ，该用户集被分配给单个频率子信道，并必须估计信道特性值 \bar{H}_k 来解码每个信道的码元。

BS必须将 $\bar{N}_{t,k} \times L$ 导频矩阵 $X_{T,k}$ 乘以加权矩阵 W_k ，并发射相乘结果。这里，L是导频长度。因此，MS的接收信号变为 $Y_k = \bar{H}_k X_{T,k} + N_k$ 。当 $X_{T,k}$ 的伪逆矩阵乘以 Y_k 时，可以估计出 \bar{H}_k 。然而，它必须满足 $\bar{N}_{t,k} \leq L$ 。当 $X_{T,k}$ 用酉矩阵乘以常数的值来表示时，可以降低估计误差。因此，BS发射由具有足够长度的正交行构成的导频 $X_{T,k}$ ，该长度是为第 k^{th} 到 K^{th} 个MS指定的，其中 $k = 1$ 。

如上所述，导频的设计是在这样的条件下完成，即在分配了单个频率子信道的MS的SDM信号之间没有出现干扰。然而，由于在实际环境中，BS具有关于下行信道的不完整信息，因此，不能完全被消除信号干扰。因此，来自不同MS的干扰产生，并影响了信道估计。

为了解决该问题，BS分配一个导频信道，在该信道中，在分配了单个频率子信道的MS的SDM信号之间的相关值最小。

如上所述，各个MS具有相同数量的接收天线，并且 \bar{H}_k 或 $X_{T,k}$ 矩阵对于所有k值具有相同的大小。当可分配的导频的长度 $L \geq \sum_{k=1}^K \bar{N}_{t,k}$ 时，选择相互不同的 $L \times L$ 正交矩阵的 $N_{t,k}$ 个行，并能够最小化在根据SDM的MS之间的干

扰。例如，当空间信道 K_s 的数量是 2 时，在 4×4 正交矩阵中的第一和第二行被分配给 MS 1 的导频信道，并在该 4×4 正交矩阵中的第三和第四行被分配给 MS 2 的导频信道，以便可以根据信道估计来充分地消除 MS 之间的干扰。

当可分配导频的长度 $L < \sum_{k=1}^K \bar{N}_{t,k}$ 时，在 MS 之间的干扰不能完全消除。当可分配导频的长度 $L \geq \sum_{k=1}^K (L - \bar{N}_{t,k})$ ，并且空间信道的数量 $K_s = 2$ 时，每个 MS 可以区别并选择 $L \times L$ 正交矩阵的一些行，以便能够最小化干扰。

如图 5 所示的那样，BS 使用在诸如 Hadamard 矩阵和 DFT（离散傅立叶变换）矩阵等的正交矩阵中的 8×8 矩阵来分配导频。如果四个 MS 或用户共享一个正交矩阵，其中 $\bar{N}_{t,k} = 6$ ，一些行相同的 6×8 矩阵被作为导频分配给如图 5 所显示的四个用户。

换句话说，BS 分配相应于行 1、2、3、4、5 和 6 的导频到 MS 1 (X_1)，分配相应于行 3、4、5、6、7 和 8 的导频到 MS 2 (X_2)，分配相应于行 5、6、7、8、1 和 2 的导频到 MS 3 (X_3)，并且分配相应于行 7、8、1、2、3 和 4 的导频到 MS 4 (X_4)。

导频信号被分配给相互邻近的 MS，以便能够最小化在 MS 之间的干扰。

当 MS 的数量较大且导频长度短时，在分配给 MS 的导频信号之间会产生干扰。因此，当分配导频信道时，使用单位空时代码(unitary space-time code)产生多个具有低相关性的酉矩阵。该酉矩阵被作为 MS 的导频来分配，以便可以消除在 MS 之间的干扰。该单位空时编码矩阵(unitary space-time coding matrix)是根据用户数量 K 和导频长度 L 而标准化的，并可以基于 DFT 矩阵来产生。

在这种情况下，可以降低信号干扰。然而，不能均匀地降低 MS 的信号干扰分量。信号干扰并不均匀地影响 H_k 的元素。因此，MS 的导频信号必须根据时间来修正和交换。也就是说，当根据时间分配的导频的位置连续改变时，每个 MS 计算在导频之间的平均值，以便可以提高信道估计的性能。

将参考图 6 描述基于 TDM(时分复用)的导频分配过程。将一个正交矩阵的行适当地分类作为 MS 的导频信号，以便可以如图 5 所显示的那样最小化 MS 之间的干扰。

对于时刻 1，BS 给 MS 1 (X_1) 分配相应于行 1、2、3、4、5 和 6 的导频，给 MS 2 (X_2) 分配相应于行 3、4、5、6、7 和 8 的导频，给 MS 3 (X_3)

分配相应于行 5、6、7、8、1 和 2 的导频，并且给 MS 4 (X_4) 分配相应于行 7、8、1、2、3 和 4 的导频。

对于时刻 2，BS 给 MS 1 (X_1) 分配相应于行 3、4、5、6、7 和 8 的导频，给 MS 2 (X_2) 分配相应于行 7、8、1、2、3 和 4 的导频，给 MS 3 (X_3) 分配相应于行 1、2、3、4、5 和 6 的导频，并且给 MS 4 (X_4) 分配相应于行 5、6、7、8、1 和 2 的导频。

对于时刻 3，BS 给 MS 1 (X_1) 分配相应于行 7、8、1、2、3 和 4 的导频，给 MS 2 (X_2) 分配相应于行 5、6、7、8、1 和 2 的导频，给 MS 3 (X_3) 分配相应于行 3、4、5、6、7 和 8 的导频，并且给 MS 4 (X_4) 分配相应于行 1、2、3、4、5 和 6 的导频。

每个 MS 对时刻 1 到 3 获得的所有信道估计值求和，并计算在信道估计值之间的平均值。MS 之间的集中于 H_k 的某些元素上的信号干扰被消除。通过时刻 1 到 3 接收的信道估计值，可以补偿暂时且很快降低的信道估计值。

图 7A 和 7B 显示了根据本发明的导频信道分配性能。此外，图 7A 和 7B 显示了在总发射功率噪声功率比 P 中的均方误差。

在图 7A 中，空间信道的数量 K_s 是 2，BS 发射天线的数量 N_t 是 4，并且第 k^{th} 个 MS 的接收天线数量 $N_{r,k}$ 是 2。在图 7B 中，空间信道的数量 K_s 是 4，BS 发射天线的数量 N_t 是 12，和第 k^{th} 个 MS 的接收天线数量 $N_{r,k}$ 是 2。

情况 1 中，如图 7A 和 7B 所示，分配单个正交矩阵的相互区别的行，以便最小化 MS 之间的干扰。情况 2 中，如图 7A 和 7B 所示，在不考虑 MS 之间干扰的状态下，正交矩阵的相同行被分配给使用相同导频信号的所有用户。

假设在 MS 之间的信号干扰是由上行链路信道信息误差引起的，上行链路信道信息误差的功率是信道功率的 0.05 倍。如图 7A 和 7B 所示，当正交矩阵的不同元素通过导频信号被分配给不同 MS 时，可以看出，与情况 2 相比，情况 1 具有较低的下行信道估计误差。

正如以上描述所清楚显示的那样，本发明具有许多有利效果。例如，本发明在基于 SDM 的 MIMO-OFDM 系统中，在顺序分配单个频率子信道到用户时，计算最优化通信容量来产生最佳用户集。因此，本发明减少了产生用户集所需的计算量。

当根据单个频率子信道来估计下行信道时，BS 分配具有导频长度的相应正交矩阵的行到 MS，从而根据 SDM 最小化在 MS 之间的干扰。

尽管为示例性目的公开了本发明的优选实施例，但是在不脱离本发明的范围内，本领域技术人员将理解各种修改、添加和替换。因此，本发明并不局限于上述实施例，而由所附的权利要求书及其等效方案的全部范围来限定。

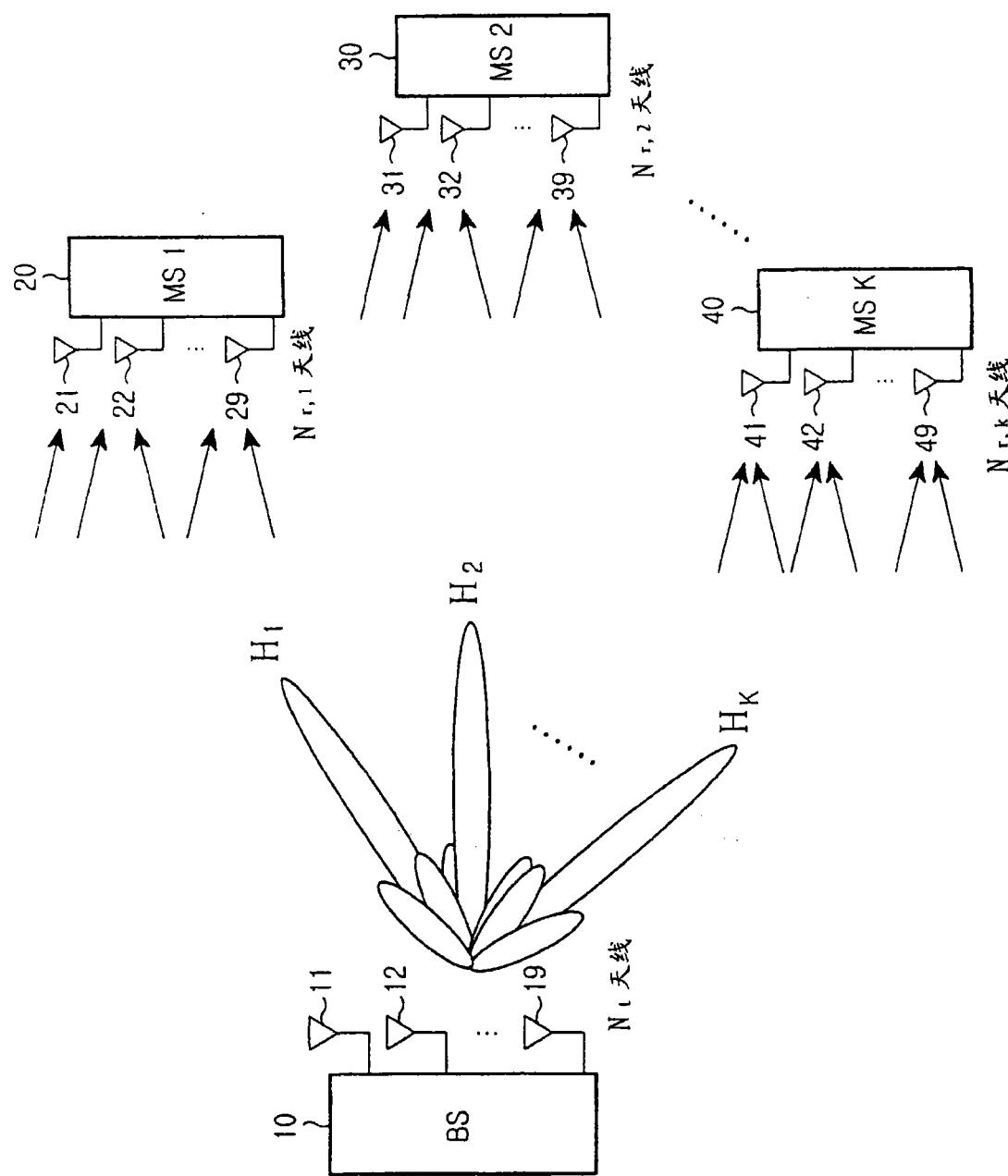


图 1

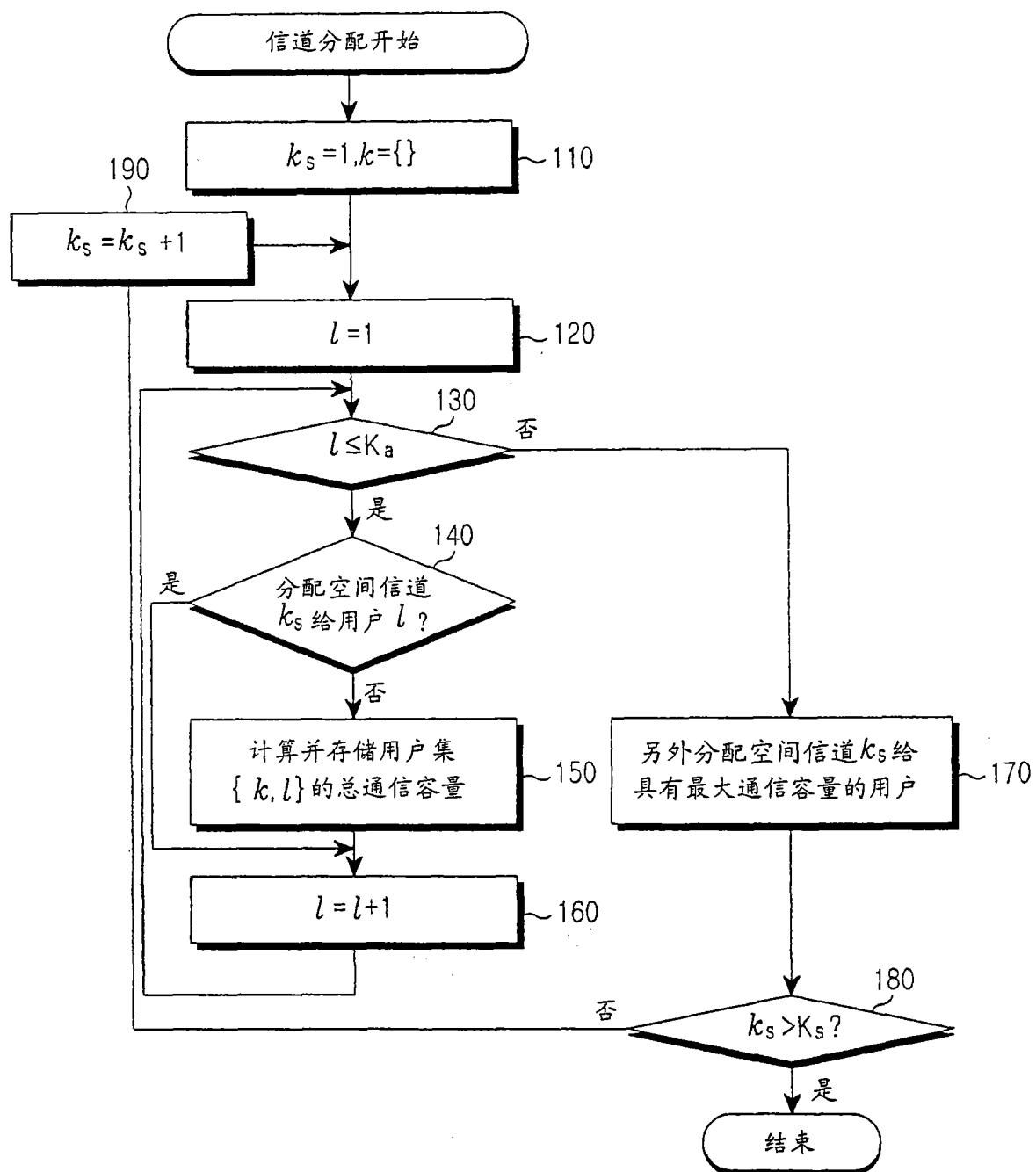


图 2

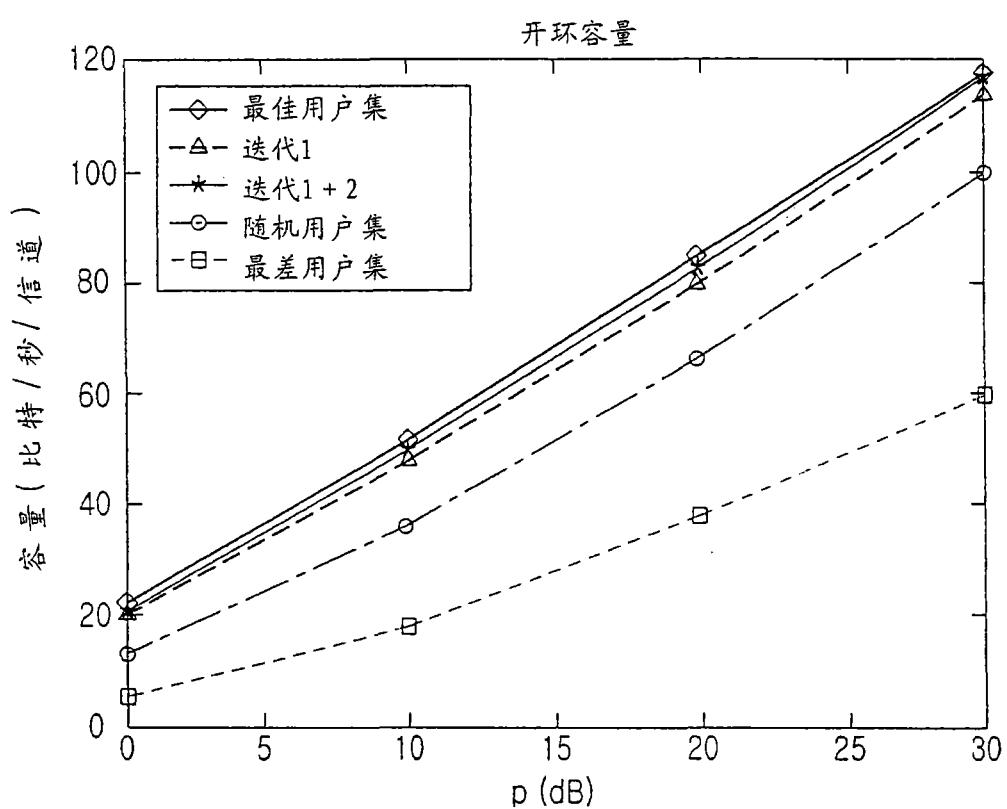


图 3

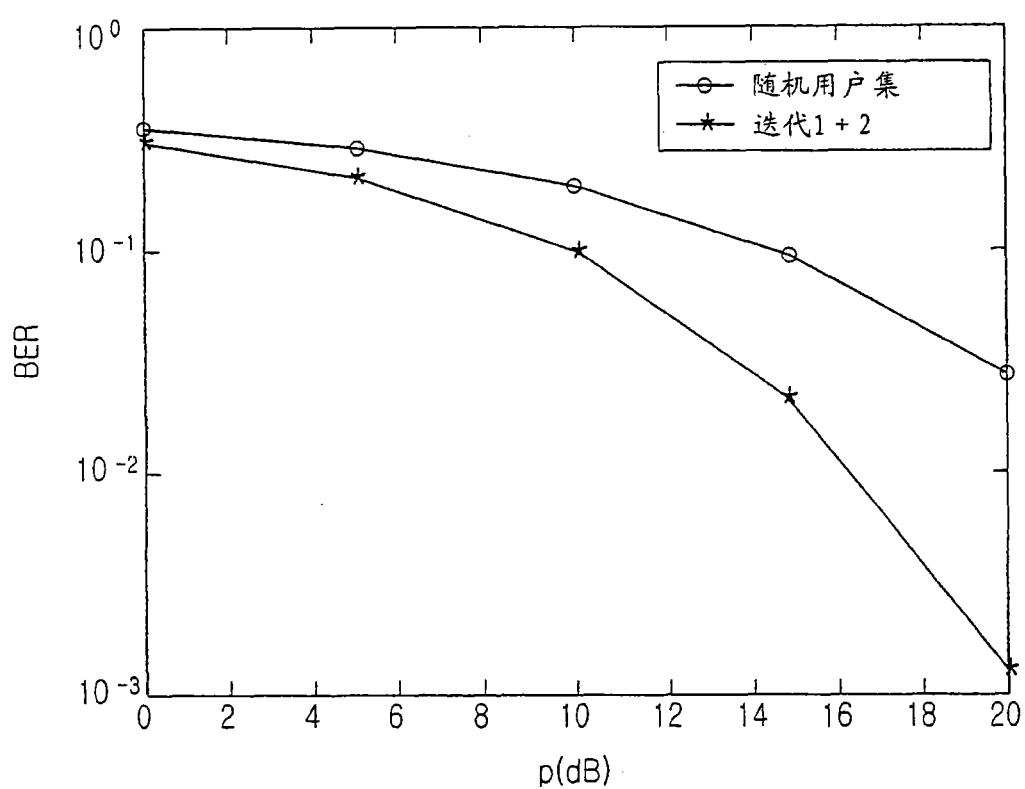


图 4

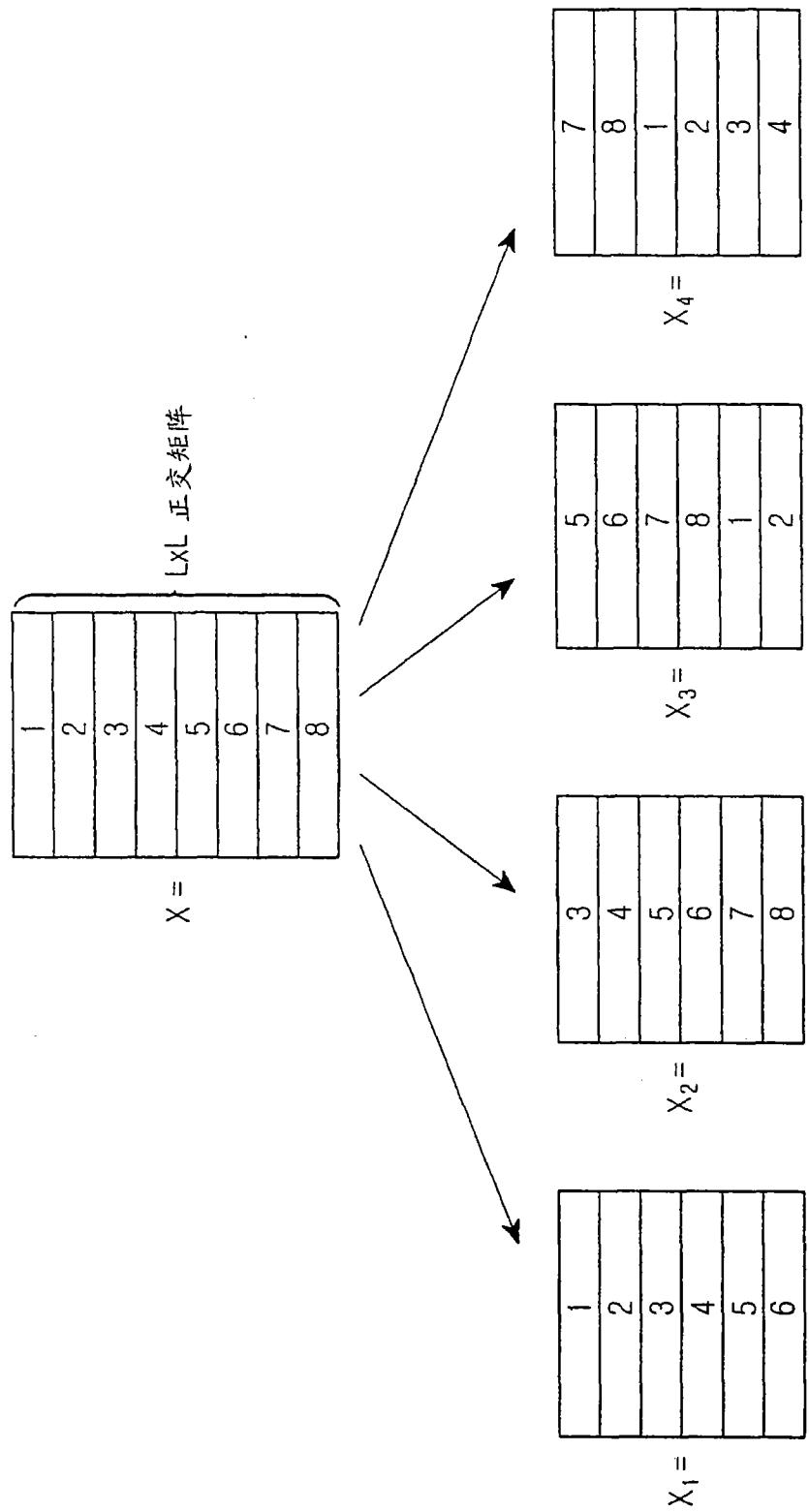


图 5

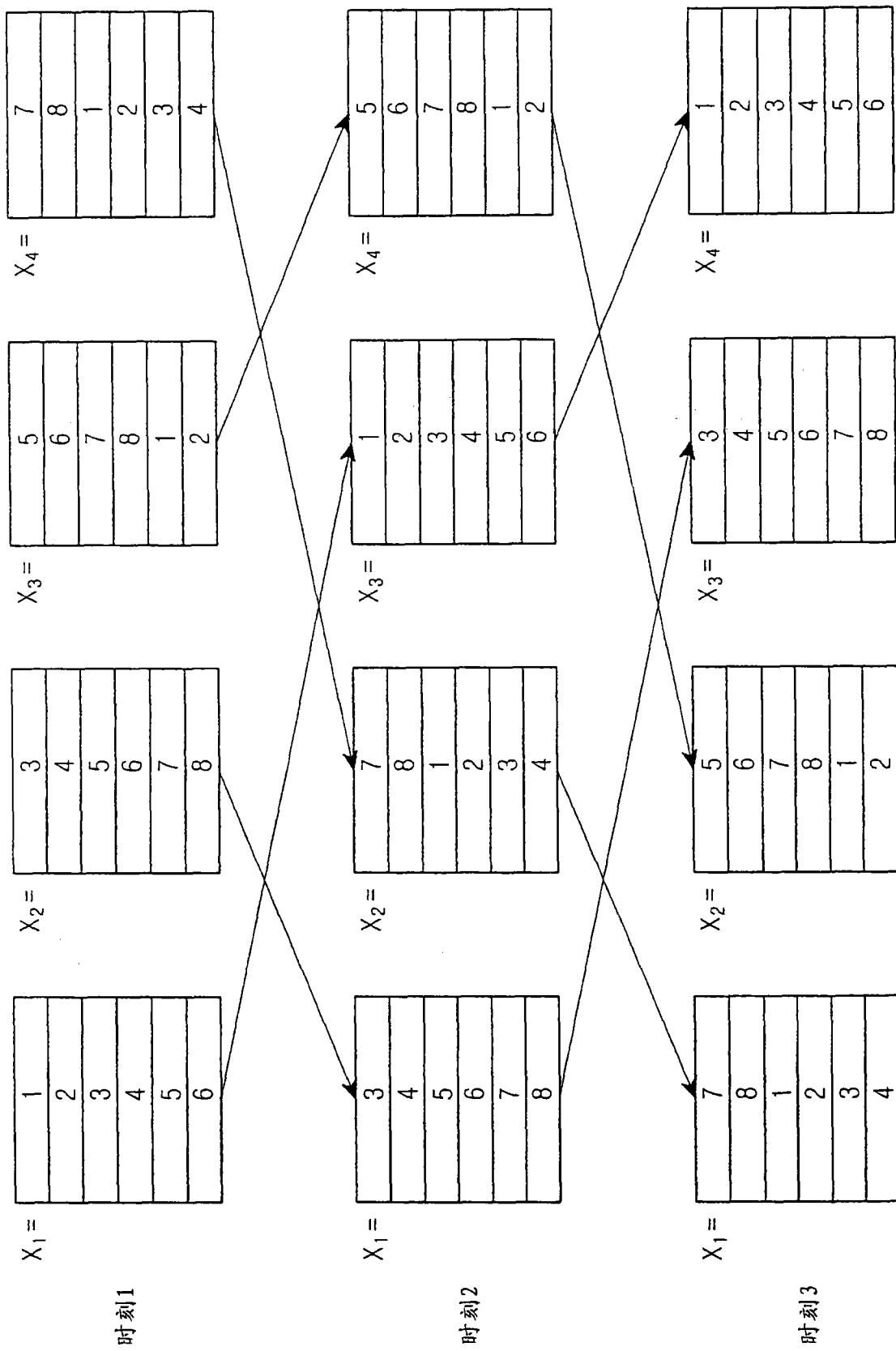


图 6

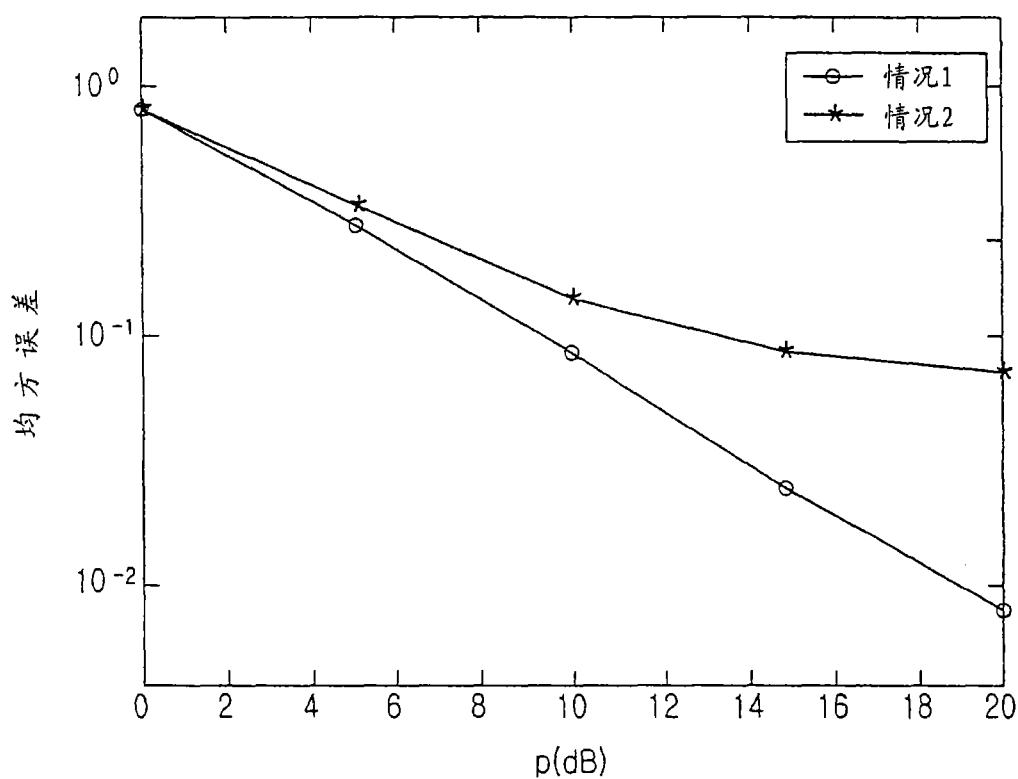


图 7A

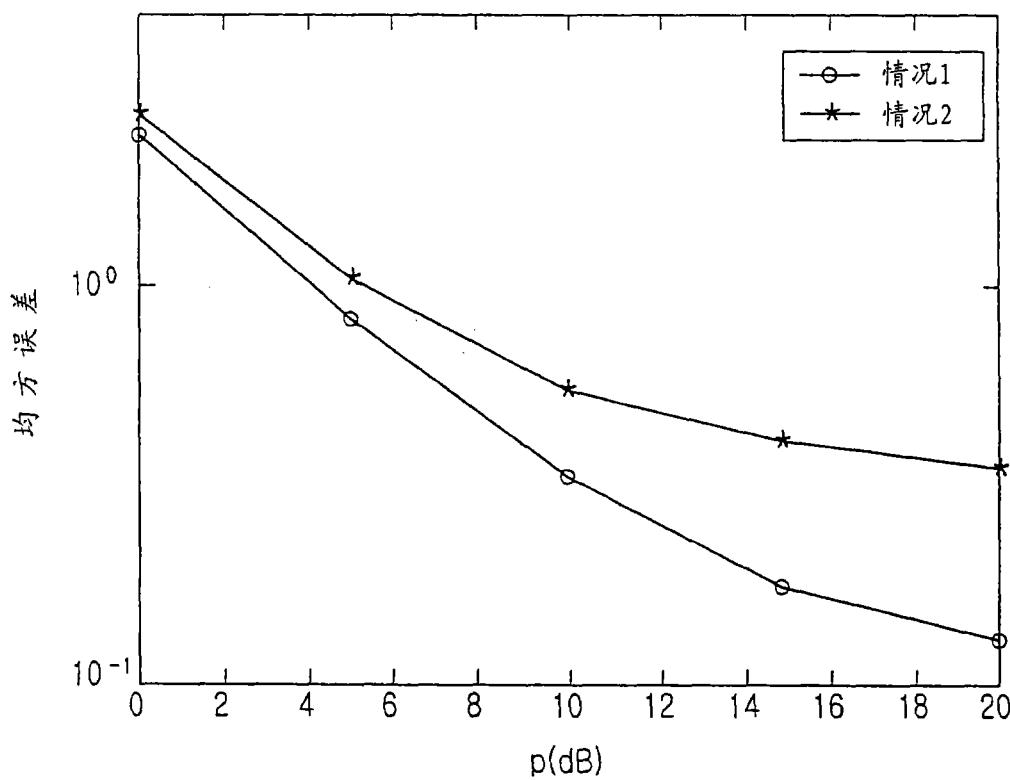


图 7B