

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04L 25/02 (2006.01)

H04L 25/03 (2006.01)

H04J 13/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510075205.7

[45] 授权公告日 2009年6月10日

[11] 授权公告号 CN 100499607C

[22] 申请日 2005.6.3

[21] 申请号 200510075205.7

[73] 专利权人 上海原动力通信科技有限公司

地址 201700 上海市青浦区新业路 599 号
3 幢 103 号

[72] 发明人 李 峰 王映民 钟 南 杨贵亮

[56] 参考文献

CN1520077A 2004.8.11

CN1581752A 2005.2.16

JP2002-330113A 2002.11.15

CN1588931A 2005.3.2

EP0952711A2 1999.10.27

审查员 王 澍

[74] 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

代理人 逯长明

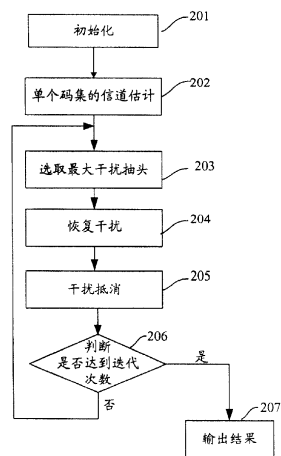
权利要求书 3 页 说明书 15 页 附图 4 页

[54] 发明名称

时隙码分多址系统多码集信号估计方法

[57] 摘要

本发明公开了一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法，包括步骤：A、对各个码集信号分别进行单码集信道估计，获得各码集的信道估计结果；B、从所述信道估计结果中提取最大干扰抽头；C、恢复所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量；D、抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果；E、判断是否达到预定的迭代次数，如果是则输出各个单码集信道估计的结果，否则，将所述各码集净信号的信道估计结果作为下一步处理的码集的信道估计结果，返回步骤 B。利用本发明，可以简单、有效地实现高性能的多码集联合信道估计。



1、一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

A、对各个码集信号分别进行单码集信道估计，获得各码集的信道估计结果；

B、从所述信道估计结果中提取最大干扰抽头；

C、恢复所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量；

D、抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果；

E、判断是否达到预定的迭代次数，如果是则输出各码集净信号的信道估计结果，否则，将所述各码集净信号的信道估计结果作为下一步处理的码集的信道估计结果，返回步骤 B。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C 包括：

C1、获取信道估计码的互干扰向量；

C2、根据信道估计码的互干扰向量计算所述最大干扰抽头对各个码集信号响应引起的干扰分量。

3、根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C1 具体为：由现场计算产生所述信道估计码的互干扰向量。

4、根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C1 具体为：通过查表获取所述信道估计码的互干扰向量。

5、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 D 具体为：

采用完全抵消方式抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果。

6、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 D 具体为：

采用部分抵消方式抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估

计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果。

7、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述采用部分抵消方式抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果的过程中，抵消比例随迭代次数逐步增加。

8、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤E中达到预定的迭代次数后，直接将经过预定迭代次数后的各码集信道估计结果作为各码集净信号的信道估计结果。

9、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤E中达到预定的迭代次数后，由各次迭代中提取的各码集信道估计结果的最大干扰抽头组成各码集净信号的信道估计结果。

10、一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

A'、对各个码集信号分别进行单码集信道估计，获得各码集的信道估计结果，并复制所述各码集的信道估计结果，生成原始信道估计结果和复制信道估计结果；

B'、从所述原始信道估计结果中提取最大干扰抽头；

C'、恢复所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量；

D'、分别从所述原始信道估计结果和所述复制信道估计结果中抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果，并将所述原始信道估计结果的最大干扰抽头置0；

E'、判断是否达到预定的迭代次数，如果是则输出各码集净信号的信道估计结果，否则，将分别从所述原始信道估计结果和所述复制信道估计结果中获得的各码集净信号的信道估计结果分别作为下一步处理的码集的原始信道估计结果和复制信道估计结果，返回步骤B'。

11、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C' 包括：

C1、获取信道估计码的互干扰向量；

C2、根据信道估计码的互干扰向量计算所述最大干扰抽头对各个码集信号响应引起的干扰分量。

12、根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C1 具体为：
由现场计算产生所述信道估计码的互干扰向量。

13、根据权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述步骤 C1 具体为：
通过查表获取所述信道估计码的互干扰向量。

14、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述步骤 D' 具体为：
采用完全抵消方式抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果。

15、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述步骤 D' 具体为：
采用部分抵消方式抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果。

16、根据权利要求 15 所述的方法，其特征在于，所述采用部分抵消方式抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果的过程中，抵消比例随迭代次数逐步增加。

时隙码分多址系统多码集信号估计方法

技术领域

本发明涉及移动通信技术领域，具体涉及一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法。

背景技术

无线移动通信中最显著的特点就是其信道的复杂性和时变性。在相干接收方案中，需要在接收端对信道进行估计和测量，然后利用得到的信道响应对信号进行相干检测。除了在信号检测中的应用之外，信道估计还在物理层测量、智能天线、快速控制、切换及无线资源管理等相关子系统中起到重要的基础性的作用。

在时隙 CDMA（码分多址）蜂窝移动通信系统中，信道估计码和传送的数据部分采用时分复用传送，而且不同小区之间也是时隙同步的。

例如，在 TD-SCDMA（时分复用-同步码分多址系统，即 3GPP 1.28Mcps TDD）系统中，业务时隙的突发信号结构如图 1 所示：

其中，突发信号中部的 midamble（中间码，也可称为信道估计码）是用来进行信道估计的，两边的数据块用来传送业务数据。

上述信道估计码 midamble 是按以下方式生成的：

对于同一个小区的同一个时隙，给定一个基本的中间码作为基本码，不同的用户采用这个相同基本码的不同的循环移位版本作为它的信道估计码。由同一个单独的基本码 \mathbf{m}_p 导出的 K 个特定的中间码 $\mathbf{m}_p^{(k)}$ ； $k=1, \dots, K$ ，构成中间码码集，简称为码集。

在 TD-SCDMA 系统中，基本码的周期 $P=128$ ，导出的中间码的码长为 $Lm=128+16$ 。时隙 CDMA 进行信道估计的方法称为 Steiner 估计器，详细内容参见文献 B. Steiner, and P. W. Baier, "Low Cost Channel Estimation in the Uplink Receiver of CDMA Mobile Radio Systems," FREQUENZE, 47(1993) 11-12, 具体估计过程如下：

设各用户的信道响应为 $\mathbf{h}^{(k)}$ ：

$$\mathbf{h}^{(k)} = (h_1^{(k)}, h_2^{(k)}, \dots, h_w^{(k)})^T \quad (1)$$

其中，信道响应的时延用窗长 W 来表示，信道响应矢量就是用以码片为间隔的 W 个抽头上的值来表示的。在这种情况下，中间码响应信号的长度应为 $Lm+W-1$ 。考虑到中间码与传送数据部分是连续发送的，中间码响应信号的前 $W-1$ 个值受到前面数据块的影响，后 $W-1$ 个值和后面数据块重叠。

取中间的 P 个码片作为观测值，记这个矢量为：

$$\mathbf{e}_{mid} = (e_1, e_2, \dots, e_P) \quad (2)$$

根据一个码集内多用户中间码生成的特性，接收端接收的中间码的响应信号可以表示为：

$$\mathbf{e}_{mid} = \mathbf{G}\mathbf{h} + \mathbf{n} \quad (3)$$

其中， \mathbf{n} 为噪声和干扰， \mathbf{h} 为总的信道响应矢量：

$$\mathbf{h} = (\mathbf{h}^{(1)T}, \mathbf{h}^{(2)T}, \dots, \mathbf{h}^{(K)T})^T \quad (4)$$

矩阵 \mathbf{G} 是一个循环矩阵：

$$\mathbf{G} = (\text{circle}(g_1, g_2, \dots, g_P))^T \quad (5)$$

其中 $\mathbf{g} = (g_1, g_2, \dots, g_P)$ 是矩阵 \mathbf{G} 的第一列，由生成这个码集的基本码确定。

信道估计的任务就是以信道响应 \mathbf{h} 为未知数通过求解 (3) 式来得到其估计值。由最大似然准则并进行一定的简化可以得到：

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{e}_{mid} \quad (6)$$

由于 G 矩阵是一个循环矩阵，实际运算可以用二维傅立叶变换 (DFT) 以及二维傅立叶逆变换 (IDFT) 来实现。

$$\hat{\mathbf{h}} = \text{IDFT} \left(\frac{\text{DFT}(\mathbf{e}_{mid})}{\text{DFT}(\mathbf{g})} \right) \quad (7)$$

式中的 DFT(g) 可以在预先离线计算得到。

这种信道估计的算法以较小的计算代价得到了属于一个码集内的多用户的信道估计结果，而且抑制了属于同一个基本码的多个用户 m 中间码之间的干扰。这种信道估计方法针对的是属于同一个基本码的一个码集内的多用户中间码作信道估计，即单码集信道估计方法。

由于单码集信道估计方法把同一时间叠加的除本码集信号响应以外的其他信号都当成白高斯噪声来处理，因此在信干噪比较低时，其性能不能满足要求。并且，对于小区间同步工作的时隙 CDMA 系统来说，处于与本小区交界处的邻小区用户的通信信号对本小区干扰较强，并且同频邻小区信号与本小区的信号是时隙同步的，也就是说，本小区信道估计码受到的同频相邻小区的干扰，主要来自与本小区同步的其它码集的信道估计码信号的响应。另外，在其他的一些应用中，也有可能可能会出现功率相近的多个码集的信道估计码响应信号叠加的情况。例如，当采用多天线接收时，单码集信道估计方法的性能恶化，不仅限制了多天线系统接收性能的改善，而且带来多天线系统的赋形发送、物理层测量、同步和功率控制等相关子系统性能的恶化。在这种情况下，单码集信道估计方法难以满足系统对信道估计性能的要求。

为此，中国专利申请 03100670.1 提出了一种时隙码分多址系统多码集信道估计方法，该方法基于有限时间位置判决，实现多码集联合信道估计。

在实际的多码集信道估计中，一方面，由于各个码集的信道估计码之间非理想的互相关特性的影响，使得多码集信道估计较难达到接近理想信道估计的性能；另一方面，较好的信道估计性能计算复杂，实现成本较高。

发明内容

本发明的目的是提供一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法，以针对存在多码集信道估计码响应信号的情况，以较小的价实现高性能的多码集联合信道估计。

为此，本发明提供如下的技术方案：

一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法，所述方法包括以下步骤：

A、对各个码集信号分别进行单码集信道估计，获得各码集的信道估计结果；

B、从所述信道估计结果中提取最大干扰抽头；

C、恢复所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量；

D、抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果；

E、判断是否达到预定的迭代次数，如果是则输出各码集净信号的信道估计结果，否则，将所述各码集净信号的信道估计结果作为下一步处理的码集的信道估计结果，返回步骤 B。

一种时隙码分多址系统多码集信号估计方法，所述方法包括以下步骤：

A'、对各个码集信号分别进行单码集信道估计，获得各码集的信道估计结果，并复制所述各码集的信道估计结果，生成原始信道估计结果和复制信道估计结果；

B'、从所述原始信道估计结果中提取最大干扰抽头；

C'、恢复所述最大干扰抽头对各个码集信号响应信道估计结果引起的干扰分量；

D'、分别从所述原始信道估计结果和所述复制信道估计结果中抵消所述最大干扰抽头对各个码集信号响应引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果，并将所述原始信道估计结果的最大干扰抽头置 0；

E'、判断是否达到预定的迭代次数，如果是则输出各码集净信号的信道估计结果，否则，将分别从所述原始信道估计结果和所述复制信道估计结果中获得的各码集净信号的信道估计结果分别作为下一步处理的码集的原始信道估计结果和复制信道估计结果，返回步骤 B'。

所述步骤 C 和所述步骤 C' 均分别包括：

C1、获取信道估计码的互干扰向量，所述互干扰向量可由现场计算产生或者通过查表获取；

C2、根据信道估计码的互干扰向量计算所述最大干扰抽头对各个码集信号响应引起的干扰分量。

可选地，采用完全抵消方式或者部分抵消方式获得各码集净信号的信道估计结果，并且采用部分抵消方式获得各码集净信号的信道估计结果的过程中，抵消比例可以随迭代次数逐步增加。

可选地，在步骤 E 中达到预定的迭代次数后，可以直接将经过预定迭代次数后的各码集信道估计结果作为各码集净信号的信道估计结果；或者由各次迭代中提取的各码集信道估计结果的最大干扰抽头组成各码集净信号的信道估计结果。

由以上本发明提供的技术方案可以看出，本发明针对存在多码集信道估计码响应信号的情况，充分利用了多码集信号所提供的信息，抵消了多码集信号之间的主要干扰，改善了信道估计的性能。本发明在单码集信道估计的结果中直接进行干扰恢复和干扰抵消的迭代运算，大大降低了计算的复杂度，以较小的代价实现了高性能的多码集信道估计。

本发明不仅可以用于改善单个码集信道估计的性能，也可以用于同时得到多个码集的信道估计结果，保障了时隙 CDMA 系统同频相邻小区的正常工作。为智能天线应用、无线资源管理、物理层测量以及时隙 CDMA 系统扩展相关的各种技术提供了信道和干扰测量的基础。

附图说明

图 1 是 TD-SCDMA 业务时隙突发结构示意图；

图 2 是本发明方法的一种实现流程图；

图 3 是本发明方法的另一种实现流程图；

图 4 是本发明实施例多码集信道估计的信号处理过程示意图。

具体实施方式

本发明的核心在于从单码集信道估计结果中提取最大干扰抽头，由此直接恢复出其他码集干扰信号，并抵消该干扰信号，得到各个码集的净信号，再对各个码集的净信号重复上述处理直到达到预定的迭代次数后，输出信道估计结果。

由于本小区中间码所受到的同频相邻小区的干扰，主要来自与本小区同步的其他码集的中间码信号的响应。另外，在其他的一些应用中，也有可能会出现功率相近的多个码集的中间码响应信号叠加的情况。在这种情况下，中间码的接收信号称之为多码集信道估计码响应信号。为了叙述方便，下文中简称之为多码集信号。由于多码集信号的存在，不仅提供了同时得到多个码集信道估计的可能性，也提供了改善单码集信道估计性能的可能性。

本发明对现有技术中多码集信道估计进行了优化，从单码集信道估计结果中提取最大干扰抽头，直接进行干扰恢复和干扰抵消的迭代运算，以较小的代价实现高性能的多码集信道估计。

为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面结合附图和实施方式对本发明作进一步的详细说明。

本发明方法的实现流程如图2所示，包括以下步骤：

步骤201：初始化：

在开始进行信道估计前，由于无法分离单码集接收信号和多码集接收信号，因此信道估计前设定各个单码集信道估计器的输入都等于总的多码集接收信号。

步骤202：单码集信道估计：

利用单码集估计器，针对不同的码集分别进行单个码集的信道估计，得到各码集的原始信道估计结果。

步骤203：提取最大抽头处理：

首先，获取各码集信道估计结果中具有最大峰值功率的抽头，然后，记录最大峰值功率抽头的码集 $m1$ ，对应的抽头位置 $i1$ ，以及最大功率抽头 $h'_{m1,i1}$ 。

步骤204：恢复干扰：

利用上述获得的各码集信道估计结果中的最大功率抽头，恢复各个码集信号响应引起的干扰分量，即利用上述得到的最大功率抽头 $h'_{m1,i1}$ ，计算其对其他各码集信道估计结果的干扰：

$$\underline{\mathbf{I}}_m = h'_{m1,i1} \mathbf{CR}_{i1}^{(m,m1)} ; m \neq m1 \quad (8)$$

其中， $\mathbf{CR}_{i1}^{(m,m1)}$ 为第 $m1$ 个码集在第 $i1$ 个抽头的单位响应所产生的对第 m 个码集的信道估计的互干扰向量。 $\mathbf{CR}_{i1}^{(m,m1)}$ 可以现场计算或事先计算存储查表使用。

步骤205：干扰抵消：

从总的接收信号中减去恢复的其他码集信号响应引起的干扰分量，得到对于各个码集来说比较干净的信号，即从信道估计结果中抵消上述得到的干扰：

$$h'_m = h'_m - \underline{\mathbf{I}}_m ; m \neq m1 \quad (9-1)$$

$$h'_m = h'_m ; m = m1 \quad (9-2)$$

在上述干扰抵消处理中，可以采用完全干扰抵消，也可以采用部分干扰抵消。采用部分干扰抵消时，将干扰分量乘以一系数，该系数可以为固定值，也可以随迭代次数逐步增加。

步骤206：判断是否达到预定的迭代次数。

如果已达到，则进到步骤207：输出结果：

结果可以是经过多次迭代抵消后的 h'_m ， $m=1,2,3$ ，也可以是步骤203中每次迭代中选出的最大功率抽头 $h'_{m,i}$ ，由其构成所需要的各小区信道估计结果。

如果未达到迭代次数，则返回到步骤203，对步骤205中得到的干扰抵消结果，即上次迭代后得到的对于各个码集来说比较干净的信号，继续进行迭代处理。

在本发明方法中，对于总的多码集信号，在多个码集的信号之间存在偏差的情况下，对多码集信号的处理可以采用下述两种方案：

一种方案是仍然将不同码集的信号当成完全严格同步的信号来处理，用相同采样点上的采样数据进行信道估计、干扰恢复和干扰抵消。只是在就用信道估计的最终结果时，再考虑时间偏差造成的信道估计与码道之间对应关系的移位。

另一种方案是按照不同码集各自的同步时间进行信号处理，针对不同码集采用不同的时间偏差来进行信道估计、干扰恢复和干扰抵消。这时，干扰抵消的只是不同码集在时间上重叠的非本码集干扰分量。这时的信道估计结果可以直接应用。

本发明方法实现时，还可以将原始信道估计结果保存两份：其中一份参与最大干扰抽头选取、干扰恢复及干扰抽头抵消处理，并在抵消后将最大干扰抽头置0，但该信道估计结果不作为达到迭代次数后的输出；另一份不参与最大干扰抽头选取、干扰恢复处理，只参与干扰抵消处理，并可作为达到迭代次数后的输出。

参照图3所示流程，本发明方法的另一种实现包括以下步骤：

步骤301：初始化：

在开始进行信道估计前，由于无法分离单码集接收信号和多码集接收信号，因此信道估计前设定各个单码集信道估计器的输入都等于总的多码集接收信号。

步骤302：单码集信道估计：

对各个码集信号分别进行单码集信道估计，获得各码集的信道估计结果，并复制各码集的信道估计结果，生成原始信道估计结果和复制信道估计结果。

步骤303：从原始信道估计结果中选取最大干扰抽头：

首先，获取原始信道估计结果中具有最大峰值功率的抽头，然后，记录最大峰值功率抽头的码集 $m1$ ，对应的抽头位置 $i1$ ，以及最大功率抽头 $h'_{m1,i1}$ 。

步骤 304：恢复干扰：

利用上述获得的各码集信道估计结果中的最大功率抽头，恢复各个码集信号响应引起的干扰分量，即利用上述得到的最大功率抽头 $h'_{m1,i1}$ ，计算其对其他各码集信道估计结果的干扰：
$$\mathbf{I}_m = h'_{m1,i1} \mathbf{C} \mathbf{R}_{i1}^{(m,m1)} ; m \neq m1。$$

步骤 305：分别从原始信道估计结果和复制信道估计结果中抵消最大干扰抽头对各个码集信号响应引起的干扰分量，获得各码集净信号的信道估计结果，并将最大干扰抽头置 0。即：

$$h'_m = h'_m - \mathbf{I}_m ; m \neq m1 ;$$

$$h'_m = h'_m ; m = m1 ;$$

$$h''_m = h''_m - \mathbf{I}_m ; m \neq m1 ;$$

$$h''_m = h''_m ; m = m1 , 但其中第 i1 个抽头置 0 , 即 $h''_{m1,i1} = 0。$$$

同样，在上述干扰抵消处理中，可以采用完全干扰抵消，也可以采用部分干扰抵消。

步骤306: 判断是否达到预定的迭代次数。

如果已达到, 则进到步骤307: 输出结果:

结果可以是经过多次迭代抵消后的 h'_m , $m=1,2,3$, 也可以是步骤303中每次迭代中选出的最大功率抽头 $h'_{m,i}$, 由其构成所需要的各小区信道估计结果。

如果未达到迭代次数, 则返回到步骤 303, 对步骤 305 中得到的干扰抵消结果, 即上次迭代后得到的对于各个码集来说比较干净的信号, 继续进行迭代处理。

下面具体以三个不同码集接收信号为例来说明其信道估计方法。

设在三个小区交界处的某一个接收机收到的多码集信号中, 属于三个小区的三个码集的中间码信号的响应最强, 这三个码集对应的循环矩阵分别为 G_1 、 G_2 和 G_3 , 信道响应矢量分别 h_1 、 h_2 和 h_3 。这时接收信号可以表示为:

$$\mathbf{e}_{mid} = \sum_{m=1}^3 \mathbf{G}_m \mathbf{h}_m + \mathbf{n}_0 \quad (10)$$

上式中的 \mathbf{n}_0 与式 (3) 中的 \mathbf{n} 不同, \mathbf{n}_0 表示除去 3 个多码集信号以外的其他所有噪声。

考虑到算法的开销, 以及仿真和实际试验的结果来确定迭代次数以及码集个数的取值。在该实施例中, 设定迭代次数为6。

具体实现步骤如下:

步骤1. 初始化: 在开始进行信道估计前, 设定各个单码集信道估计器的输入都等于总的多码集接收信号:

$$\mathbf{e}_{mid,m} = \mathbf{e}_{mid}, \quad m=1,2,3 \quad (11)$$

步骤2. 单码集信道估计: 利用单码集信道估计方法, 针对不同的码集分别进行单个码集的信道估计, 按公式 (6) 得到各码集的原始信道估计结果 $\hat{\mathbf{h}}_m$:

$$\hat{\mathbf{h}}_m = \mathbf{G}_m^{-1} \mathbf{e}_{mid} \quad (12)$$

根据公式 (7) 用FFT表示上式得到:

$$\hat{\mathbf{h}}_m = IDFT\left(\frac{DFT(\mathbf{e}_{mid})}{DFT(\mathbf{g}_m)}\right), m=1,2,3 \quad (13)$$

其中, $\mathbf{g}=(g_1, g_2, \dots, g_p)$ 是第 m ($m=1,2,3$) 个码集的基本码,

$$\text{令 } h'_m = \hat{\mathbf{h}}_m, m=1,2,3 \quad (14)$$

步骤3. 求出最大峰值:

用排序的方法求出上述3个码集的原始信道估计结果中具有最大峰值功率的抽头, 并记录具有最大峰值功率抽头的码集为 m_1 , 对应的抽头位置 i_1 , 以及最大功率抽头 h'_{m_1, i_1} ;

步骤4. 恢复干扰:

对于第1个码集 m_1 , 将式 (10) 带入式 (12) 可得:

$$\hat{\mathbf{h}}_1 = \mathbf{G}_1^{-1} \mathbf{e}_{mid} = \mathbf{G}_1^{-1} (\mathbf{G}_1 \mathbf{h}_1 + \mathbf{G}_2 \mathbf{h}_2 + \mathbf{G}_3 \mathbf{h}_3 + \mathbf{n}_0) = \mathbf{h}_1 + \mathbf{G}_1^{-1} \mathbf{G}_2 \mathbf{h}_2 + \mathbf{G}_1^{-1} \mathbf{G}_3 \mathbf{h}_3 + \mathbf{G}_1^{-1} \mathbf{n}_0 \quad (15)$$

用二维傅立叶变换 (DFT) 以及二维傅立叶逆变换 (IDFT) 来实现得到:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}_1 &= h_1 + IDFT\left(\frac{DFT(\mathbf{g}_2)DFT(h_2)}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) + IDFT\left(\frac{DFT(\mathbf{g}_3)DFT(h_3)}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) + IDFT\left(\frac{DFT(n_0)}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) \\ &= h_1 + \sum_{i=1}^P h_{2,i} \left(IDFT\left(\frac{DFT(\mathbf{g}_2)DFT(I_{P,i})}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) \right) + \sum_{i=1}^P h_{3,i} \left(IDFT\left(\frac{DFT(\mathbf{g}_3)DFT(I_{P,i})}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) \right) + IDFT\left(\frac{DFT(n_0)}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

其中, $h_{2,i}$ 是第2个码集总的信道响应的第 i 个抽头; $h_{3,i}$ 是第3个码集总的信道响应的第 i 个抽头;

$I_{P,i}$ 是一个长度为 P ($P=128$) 的列矢量, 其第 i 个元素为1, 其余元素为0; 分子上的DFT之间是点乘。

设 $CR_i^{(m_1, m_2)}$ 为第 m_2 个码集在第 i 个抽头的单位响应所产生的对第 m_1 个码集的信道估计的互干扰向量。 $CR_i^{(m_1, m_2)}$ 可以现场计算或事先计算存储查表使用。

$CR_i^{(m1,m2)} = IDFT\left(\frac{DFT(\mathbf{g}_{m2})DFT(I_{p,i})}{DFT(\mathbf{g}_{m1})}\right)$, 则式 (15) 变成:

$$\hat{\mathbf{h}}_1 = h_1 + \sum_{i=1}^P h_{2,i} CR_i^{(1,2)} + \sum_{i=1}^P h_{3,i} CR_i^{(1,3)} + IDFT\left(\frac{DFT(n_0)}{DFT(\mathbf{g}_1)}\right) \quad (17-1)$$

同样, 可以得到:

$$\hat{\mathbf{h}}_2 = h_2 + \sum_{i=1}^P h_{1,i} CR_i^{(2,1)} + \sum_{i=1}^P h_{3,i} CR_i^{(2,3)} + IDFT\left(\frac{DFT(n_0)}{DFT(\mathbf{g}_2)}\right) \quad (17-2)$$

$$\hat{\mathbf{h}}_3 = h_3 + \sum_{i=1}^P h_{1,i} CR_i^{(3,1)} + \sum_{i=1}^P h_{2,i} CR_i^{(3,2)} + IDFT\left(\frac{DFT(n_0)}{DFT(\mathbf{g}_3)}\right) \quad (17-3)$$

利用上面得到的最大功率抽头 $h'_{m1,i}$, 计算其对其他各码集信道估计结果的干扰:

$$\mathbf{I}_m = h'_{m1,i} \mathbf{C}R_{i1}^{(m,m1)}; \quad m \neq m1 \quad (18)$$

步骤5. 干扰抵消:

从信道估计结果中抵消上述干扰:

$$h'_m = h'_m - \mathbf{I}_m; \quad m \neq m1$$

$$h'_m = h'_m; \quad m = m1$$

干扰抵消后, 迭代次数减1, 然后判断迭代次数是否达到6;

如果已达到, 则停止迭代, 输出信道估计结果。

信道估计结果可以是经过多次迭代抵消后的 h'_m , $m = 1, 2, 3$;

也可以由步骤3中每次迭代选出的 $h'_{m1,i}$ 来构成要输出的各小区信道估计结果, 为了清楚表示输出格式, 假设3个码集的信道估计结果在迭代过程中各有2次被选出最大功率抽头, 即第1个码集的第1、2个抽头 $h'_{1,1}$, $h'_{1,2}$, 第2个码集的第1、2个抽头 $h'_{2,1}$, $h'_{2,2}$, 第3个码集的第1、2个抽头 $h'_{3,1}$, $h'_{3,2}$,

$$\mathbf{h}'_1 = (h'_{1,1}, h'_{1,2}, 0, \dots, 0), \text{ 其中有 } P-2 \text{ 个 } 0;$$

$$\mathbf{h}'_2 = (h'_{2,1}, h'_{2,2}, 0, \dots, 0), \text{ 其中有 } P-2 \text{ 个 } 0;$$

$\mathbf{h}'_3 = (h'_{3,1}, h'_{3,2}, 0, \dots, 0)$ ，其中有P-2个0；

其中，P为基本码的周期，P=128。

上述过程是步骤2单码集信道估计中只保存一份 h'_m ， $m=1,2,3$ 参与后续步骤处理的过程。

在实际应用中，也可以保存两份 h'_m ， $m=1,2,3$ ，一份参与步骤3的最大干扰抽头选取和步骤5的干扰抽头抵消，并在抵消后将最大抽头置零，但不可作为达到迭代次数后的输出；另一份不参与步骤3的最大干扰抽头选取，只参与步骤5的干扰抵消，并可作为达到迭代次数后的输出。

具体流程如下：

步骤1'，初始化：在开始进行信道估计前，设定各个单码集信道估计器的输入都等于总的多码集接收信号：

$$\text{emid}, m = \text{emid}, \quad m = 1, 2, 3$$

步骤2'，单码集信道估计：

同前面步骤2，得到 $h'_m = \hat{\mathbf{h}}_m, m=1,2,3$ 和 $h''_m = \hat{\mathbf{h}}_m, m=1,2,3$ ，其中， h'_m 只参与干扰抵消过程，而 h''_m 参与最大抽头提取及干扰恢复过程。

步骤3'，求出最大峰值：

通过排序求出 $h''_m, m=1,2,3$ 中具有最大峰值功率的抽头，并记录具有最大峰值功率抽头的码集为 $m1$ ，对应的抽头位置 $i1$ ，以及最大功率抽头 $h''_{m1,i1}$ 。

步骤4'，恢复干扰：

$$\text{同上，得到 } \mathbf{I}_m = h''_{m1,i1} \mathbf{CR}_{i1}^{(m,m1)}; \quad m \neq m1。$$

步骤5'，干扰抵消：

$$h'_m = h'_m - \mathbf{I}_m; \quad m \neq m1$$

$$h'_m = h'_m; \quad m = m1$$

$$h''_m = h''_m - \mathbf{I}_m; \quad m \neq m1$$

$h_m'' = h_m''$; $m = m1$ 但其中第 $i1$ 个抽头置 0, 即 $h_{m1,i1}'' = 0$;

干扰抵消后, 迭代次数减 1, 然后判断是否达到了预定的迭代次数, 如果已达到, 则停止迭代, 输出信道估计结果。结果可以是经过多次迭代抵消后的 h_m' , $m = 1, 2, 3$;

也可以保存步骤 3' 中每次迭代中选出的 $h_{m1,i1}''$, 由其构成要输出的各小区信道估计结果。

为了清楚地表示输出格式, 假设 3 个码集的信道估计结果在迭代过程中各有 2 次被选出最大功率抽头, 即第 1 个码集的第 1、2 个抽头 $h_{1,1}''$, $h_{1,2}''$, 第 2 个码集的第 1、2 个抽头 $h_{2,1}''$, $h_{2,2}''$, 第 3 个码集的第 1、2 个抽头 $h_{3,1}''$, $h_{3,2}''$, 则

$h_1' = (h_{1,1}'', h_{1,2}'', 0, \dots, 0)$, 其中有 $P-2$ 个 0;

$h_2' = (h_{2,1}'', h_{2,2}'', 0, \dots, 0)$, 其中有 $P-2$ 个 0;

$h_3' = (h_{3,1}'', h_{3,2}'', 0, \dots, 0)$, 其中有 $P-2$ 个 0;

其中, P 为基本码的周期, $P=128$ 。

上述实施例中信号处理的过程如图 4 所示:

图中, 在初始化时, 总的接收信号 e_{mid} 分别输入到各单码集估计器, 获得各码集的原始信道估计结果 \hat{h}_m , 该结果依次经最大抽头选取、最大抽头干扰恢复、干扰抵消处理后, 得到各码集净信号 h_m' 。然后, 将各码集净信号作为各码集的信道估计结果, 重复上述最大抽头选取、最大抽头干扰恢复、干扰抵消处理过程, 直至达到预定的迭代次数。根据实际需要, 将经过多次迭代抵消后的结果作为各码集的信道估计结果, 或者将每次迭代过程中选出的最大功率抽头构成各小区信道估计结果。

可见，本发明多码集信道估计，在信道估计结果中直接进行干扰恢复和干扰抵消的迭代过程，大大降低了迭代过程实现的复杂度，以较小的代价实现了高性能的多码集信道估计。

虽然通过实施例描绘了本发明，本领域普通技术人员知道，本发明有许多变形和变化而不脱离本发明的精神，希望所附的权利要求包括这些变形和变化而不脱离本发明的精神。

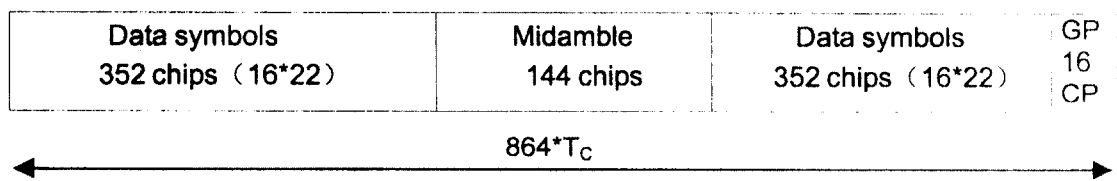


图 1

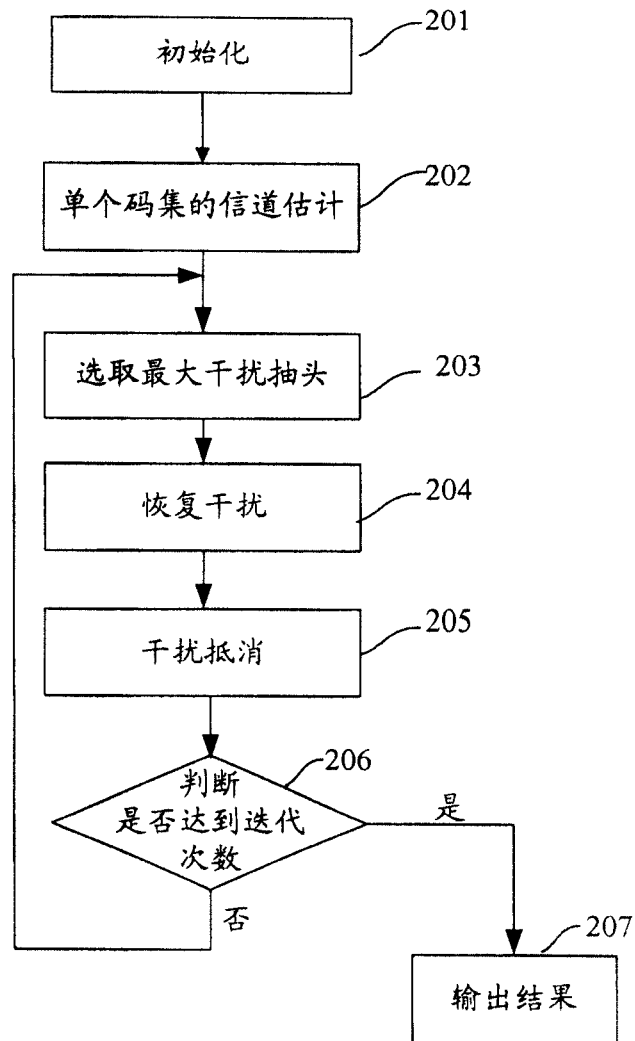


图 2

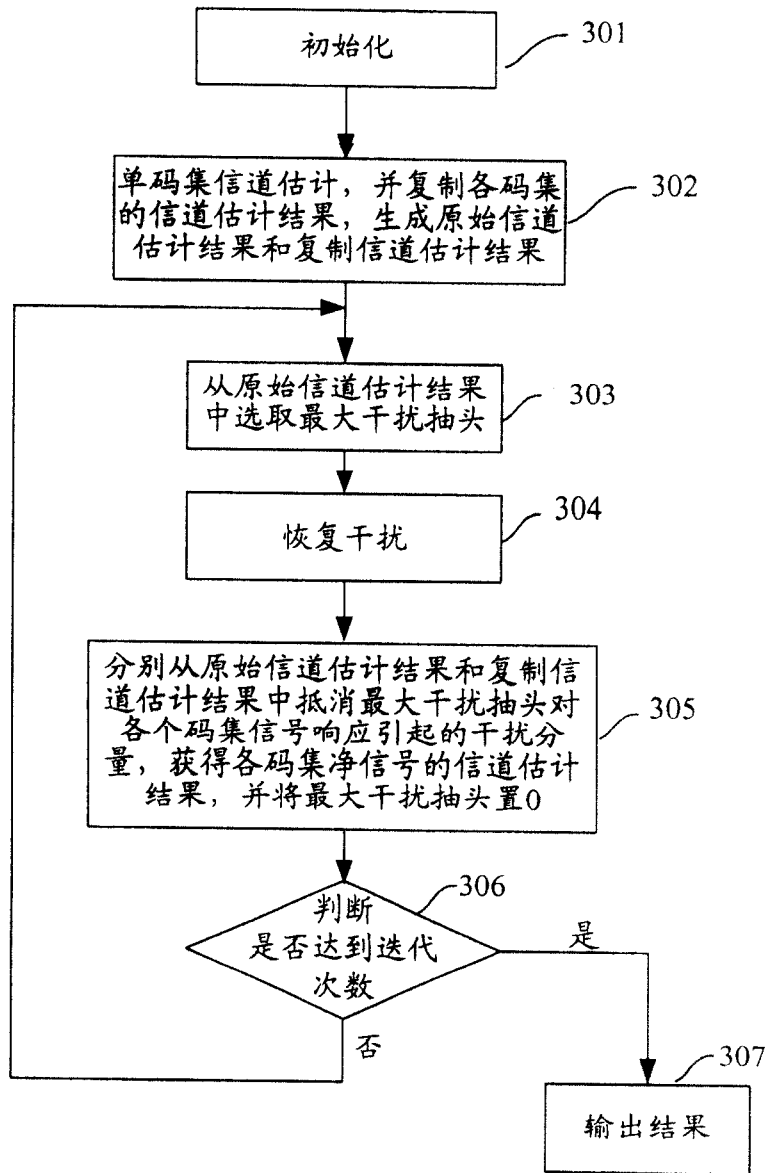


图 3

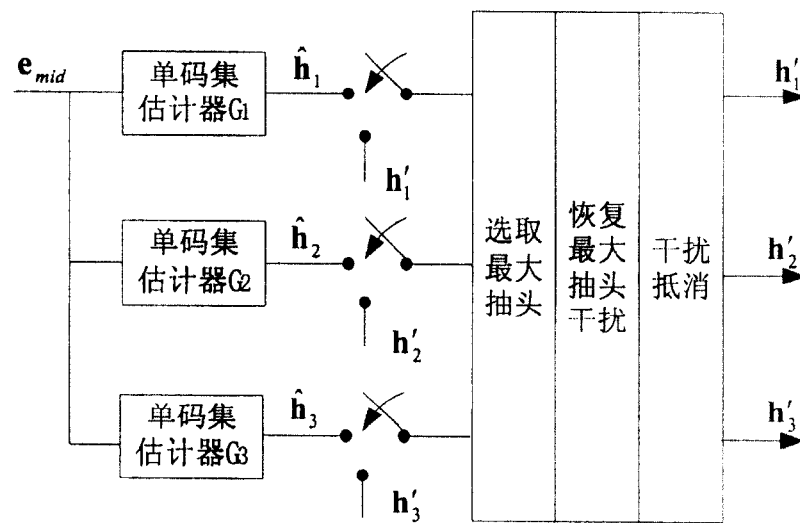


图 4