[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H04L 12/24 (2006.01)
H04B 7/005 (2006.01)
H04J 1/00 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610083512.4

[43] 公开日 2007 年 12 月 5 日

[11] 公开号 CN 101083553A

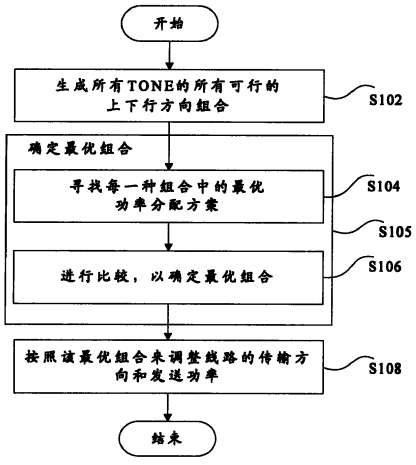
[22] 申请日 2006.5.30
[21] 申请号 200610083512.4
[71] 申请人 华为技术有限公司
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼
[72] 发明人 吕志鹏 刘建华
[74] 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司
代理人 章社杲 尚志峰
权利要求书 5 页 说明书 20 页 附图 7 页

[54] 发明名称

xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法和装置

[57] 摘要

本发明提供了一种 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，包括以下步骤：步骤 a，生成 xDSL 线路所有子信道的所有可行的上下行方向组合；步骤 b，确定组合中的频谱均衡最优的组合；以及步骤 c：按照最优组合来调整 xDSL 线路的传输方向和发送功率。 本发明还提供了一种 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置。



1. 一种 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，其特征在于，包括以下步骤:

步骤 a，生成 xDSL 线路所有子信道的所有可行的上下行方向组合;

步骤 b，确定所述组合中的频谱均衡最优的组合；以及

步骤 c: 按照所述最优组合来调整所述 xDSL 线路的传输方向和发送功率。

2. 根据权利要求 1 所述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，其特征在于，所述步骤 a 包括以下步骤:

对所有用户 n=1,2,...,N 和所有子信道 k=1,2,...,K 的上下行传输方向组合进行遍历，找到其中所有满足 $\delta_{k,n}^{up}+\delta_{k,n}^{down}=1$且$\delta_{k,n}^{up},\delta_{k,n}^{down}\in\{0,1\}$的组合作为所述所有可行的上下行方向组合，其中，$\delta_{k,n}^{up}$表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为上行传输，$\delta_{k,n}^{up}=1$表示上行传输，$\delta_{k,n}^{up}=0$表示非上行传输；$\delta_{k,n}^{down}$表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为下行传输，$\delta_{k,n}^{down}=1$表示下行传输，$\delta_{k,n}^{down}=0$表示非下行传输。

3. 根据权利要求 2 所述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，其特征在于，所述步骤 b 包括以下步骤:

步骤 b1，寻找每一种所述组合中的最优功率分配方案；以及

步骤 b2，将所有所述最优功率分配方案进行比较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有所述最优的最优功率分配方案的组合为所述最优组合。

4. 根据权利要求 3 所述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，其特征在于，所述步骤 b1 包括以下步骤：

第一步骤，构造数学模型 $J_k = w_1 b_k^{1,up} + w_2 b_k^{1,down} + \sum_{n=2}^{N}(\lambda_n^{up} b_k^{n,up} + \lambda_n^{down} b_k^{n,down}) - \sum_{n=1}^{N} \mu_n s_k^n$，其中，$s_k^n$ 表示在第 n 条用户线路上第 k 个子信道的发送功率；w_1 和 w_2 为给定常数，$\lambda_n^{up}, \lambda_n^{down}$ 和 μ_n 分别为拉格朗日算子；$b_k^{n,up}$ 和 $b_k^{n,down}$ 分别表示在第 n 条用户线第 k 个子信道上行和下行各自所能承载的比特数；以及

第二步骤，对所述所有可行的上下行方向组合，以子信道为循环单位，从 1 到 K，以 δ 为最小间隔遍历所有 s_k^n，其中 k=1,2,...,K， n=1,2,...,N，通过迭代的方式找出使 J_k 最大同时满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束的功率分配方案，作为所述最优功率分配方案。

5. 根据权利要求 1 所述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，其特征在于，所述第二步骤包括以下步骤：

当所有所述子信道都遍历完毕后，依下列各式动态调整各权重系数：

$\lambda_n^{up} = [\lambda_n^{up} + \varepsilon(R_{n,up}^{target} - R_n^{up})]^+, n = 2,...,N$

$\lambda_n^{down} = [\lambda_n^{down} + \varepsilon(R_{n,down}^{target} - R_n^{down})]^+, n = 2,...,N$ $\mu_n = [\mu_n + \varepsilon(\sum_{k=1}^{K} s_k^n - P_n)]^+, n = 1,...,N$

，直到满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束并达到稳定态为止，由此得到的功率分配方案是所述使 J_k 最大的功率分配方案。

6. 根据权利要求4所述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理方法，其特征在于，所述第一步骤包括以下步骤：

计算J_k时，获取第 k 个子信道的噪声σ_k^n及信道衰减函数$h_k^{n,n}$，所述噪声σ_k^n包括所述 xDSL 线路的本底噪声和其他 xDSL 线路的串扰噪声，加载比特速率根据$b_k^n = \log_2(1+\frac{\left|h_k^{n,n}\right|^2 s_k^n}{\sum_{m\neq n}\left|h_k^{n,m}\right|^2 s_k^m + \sigma_k^n})$进行计算。

7. 一种 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置，其特征在于，包括：

频域规划模块，用于生成 xDSL 线路所有子信道的所有可行的上下行方向组合；

最优组合确定模块，用于确定所述组合中的频谱均衡最优的组合；以及

调整模块，用于按照所述最优组合来调整所述 xDSL 线路的传输方向和发送功率。

8. 根据权利要求7所述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理装置，其特征在于，所述频域规划模块对所有用户 n=1,2,...,N 和所有子信道 k=1,2,...,K 的上下行传输方向组合进行遍历，找到其中所有满足$\delta_{k,n}^{up} + \delta_{k,n}^{down} = 1$且$\delta_{k,n}^{up}, \delta_{k,n}^{down} \in \{0,1\}$的组合作为所述所有可行的上下行方向组合，其中，$\delta_{k,n}^{up}$表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为上行传输，$\delta_{k,n}^{up} = 1$表示上行传输，$\delta_{k,n}^{up} = 0$表示非上行传输；$\delta_{k,n}^{down}$表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为下行传输，$\delta_{k,n}^{down} = 1$表示下行传输，$\delta_{k,n}^{down} = 0$表示非下行传输。

9. 根据权利要求8所述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理装置，其特征在于，所述最优组合确定模块包括:

频谱均衡模块，用于寻找每一种所述组合中的最优功率分配方案；以及

比较模块，用于将所有所述最优功率分配方案进行比较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有所述最优的最优功率分配方案的传输方向组合为所述最优组合。

10. 根据权利要求9所述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理装置，其特征在于，所述频谱均衡模块包括:

建模模块，用于构造数学模型 $J_k = w_1 b_k^{1,up} + w_2 b_k^{1,down} + \sum_{n=2}^{N} (\lambda_n^{up} b_k^{n,up} + \lambda_n^{down} b_k^{n,down}) - \sum_{n=1}^{N} \mu_n s_k^n$，其中，$s_k^n$表示在第n条用户线路上第k个子信道的发送功率；$w_1$和$w_2$为给定常数，$\lambda_n^{up}, \lambda_n^{down}$和$\mu_n$分别为拉格朗日算子；$b_k^{n,up}$和$b_k^{n,down}$分别表示在第n条用户线第k个子信道上行和下行各自所能承载的比特数；以及

遍历模块，用于对所述所有可行的上下行方向组合，以子信道为循环单位，从1到K，以δ为最小间隔遍历所有s_k^n，其中 k=1,2,...,K，n=1,2,...,N，通过迭代的方式找出使J_k最大同时满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束的功率分配方案，作为所述最优功率分配方案。

11. 根据权利要求7所述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理装置，其特征在于，所述遍历模块还用于当所有所述子信道都遍历完毕后，依下列各式动态调整各权重系数：

$\lambda_n^{up} = [\lambda_n^{up} + \varepsilon(R_{n,up}^{target} - R_n^{up})]^+, n = 2,...,N$

$\lambda_n^{down} = [\lambda_n^{down} + \varepsilon(R_{n,down}^{target} - R_n^{down})]^+, n = 2,...,N$ $\quad \mu_n = [\mu_n + \varepsilon(\sum_{k=1}^{K} s_k^n - P_n)]^+, n = 1,...,N$

，直到满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束并到达稳定态为止，由此得到的功率分配方案是所述使J_k最大的功率分配方案。

12. 根据权利要求 10 所述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置，其特征在于，所述建模模块在计算J_k时，获取第 k 个子信道的噪声σ_k^n及信道衰减函数$h_k^{n,n}$，所述噪声σ_k^n包括所述 xDSL 线路的本底噪声和其他 xDSL 线路的串扰噪声，加载比特速率根据$b_k^n = \log_2(1 + \frac{\left|h_k^{n,n}\right|^2 s_k^n}{\sum_{m \neq n}\left|h_k^{n,m}\right|^2 s_k^m + \sigma_k^n})$进行计算。

xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法和装置

技术领域

本发明涉及通信领域，更具体而言，涉及一种用于动态管理 xDSL 上下行共用频率的动态频谱管理方法和装置。

背景技术

xDSL（Digital Subscriber Line，数字用户线，缩写为 DSL，xDSL 是指各种数字用户线）是一种在电话双绞线（无屏蔽双绞线，Unshielded Twist Pair，UTP）上的高速数据传输技术。经过多年的发展，已经从第一代的 ADSL（Asymmetrical Digital Subscriber Line，非对称数字用户线）发展到现在的第二代的 ADSL2、ADSL2+以及更新的 VDSL（Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line，甚高速数字用户线）和 VDSL2。ADSL 和 VDSL 是一种多载波系统，它采用离散多音频调制（Discrete Multi-TONE Modulation，缩写为 DMT）方式，将频域分为多个互不重叠的子信道，每个子信道指定为上行或下行传输。每个子信道对应不同频率的载波，在不同的载波上分别进行 QAM 调制。对频域的这种划分大大方便了 DSL 的设计。

图 1 示出了相关技术的 xDSL 系统 **100** 的参考模型。

如图 1 所示，DSLAM **120** 包括用户端收发单元 **122** 和分离/整合器 **124**，在上行方向，用户端收发单元 **122** 接收来自计算机 **110** 的 DSL 信号并对所收到的信号进行放大处理，将处理后的 DSL 信

号发送至分离/整合器 **124**；分离/整合器 **124** 将来自局端收发单元 **122** 的 DSL 信号和电话终端 **130** 的 POTS 信号进行整合处理；整合后的信号通过多路的 UTP **140** 的传输，由对端的 DSLAM **150** 中的分离/整合器 **152** 接收；分离/整合器 **152** 将所接收的信号进行分离，将其中的 POTS 信号发送至公用电话交换网（Public Switched Telephone Network，缩写为 PSTN）**160**，将其中的 DSL 信号发送至 DSLAM **150** 的收发单元 **154**，收发单元 **154** 再将所收到的信号进行放大处理后发送至网络管理系统（Network Management System，缩写为 NMS）**170**。在信号的下行方向，则信号按照与上述相反的顺序进行传输。

图 2 示出了相关技术的 VDSL2 的三种主要频谱划分。

xDSL 技术将整个频域划分为上行（用户到交换局）部分和下行（交换局到用户）部分，上、下行频带间互不重叠，互相独立。ADSL（ADSL2）使用 1.1MHz 以下频谱，25kHz~138kHz 为上行，138kHz~1.1MHz 为下行，可提供上行最大 800kbps（1.5Mbps）、下行最大 8Mbps（16Mbps）的速率，ADSL2+将下行频谱带宽扩展到 2.2MHz，能够提供最大 25Mbps 下行速率和最大 3Mbps 上行速率，VDSL 采用最大 12MHz 的频率，能提供最大 52Mbps 下行速率和最大 26Mbps 上行速率，而 VDSL2 甚至使用高达 30MHz 的频谱，能够提供最高上下行对称 100Mbps 的速率。G.993.2 中给出了 VDSL2 在 0~12MHz 之间以及 12MHz~30MHz 之间的上、下行频域划分。如图 2 所示，目前 12MHz 以下的频谱划分主要有三种。

图 3 示出了相关技术中的远端串扰和近端串扰示意图。

用户电缆基本上都包含多对（25 对或以上）双绞线，在各个双绞线上可能运行了多种不同的业务，各种类型的 xDSL 同时工作的时候互相之间会产生串扰，其中某些线路会因为这个原因性能急剧

下降；当线路比较长时，某些线路根本不能开通任何形式的 DSL 业务。串扰是当前 DSL modem（调制解调器）（如 ADSL,VDSL）系统中影响用户速率的主要因素，可分为远端串扰（FEXT）和近端串扰（NEXT），如图 3 所示。通常 NEXT 的影响要比 FEXT 大，但在 ADSL/VDSL 中，由于采用了上、下行频域分隔和频分复用技术，FEXT 的影响要远大于 NEXT，特别是在 CO/RT 混合使用环境中更是如此。

如图 3 所示，由于 xDSL 上下行信道采用频分复用，所以近端串扰(NEXT)对系统的性能不产生太大的危害;但远端串扰(FEXT)会严重影响线路的传输性能。当一捆电缆内有多路用户都要求开通 xDSL 业务时，会因为远端串扰（FEXT）使一些线路速率低、性能不稳定、甚至不能开通等，最终导致 DSLAM 的出线率比较低。

图 4 示出了相关技术的 CO/RT 混合用户场景示意图。

xDSL 技术通过调整各个频带的发射功率来消除或减弱噪声，以达到提高数据速率的目的。传统的调整功率的方法为静态频谱管理方法，其中包括平坦功率回馈方法（Flat Power Back-Off），参考 PSD 方法(Reference PSD Method)和参考噪声法(Reference Noise Method) 等。动态频谱管理方法（Dynamic Spectrum Management-DSM）是近几年提出的能更加有效地管理分配功率的方法，它克服了静态频谱管理方法的缺陷，动态地调整功率来达到消除或减弱各用户之间串扰影响的目的，能大大地提高速率。特别是在 CO/RT 混合使用的情况下短线对长线的串扰影响较大。如图 4 所示，线路 2 对线路 1 的影响要远远大于线路 1 对线路 2 的影响。通过动态频谱管理方法可以大大降低串扰的影响从而提高速率。

DSM 技术还没有商用，图 5 示出了相关技术的 DSM 参考模型示意图。目前 DSM 第一层面的主流架构如图 5 所示，有一个控制

器 SMC（Spectrum Maintenance Center）和三个控制接口，分别为 DSM-S、DSM-C、DSM-D。SMC 通过 DSM-D 接口从 DSL-LT 读取 DSL 线路的工作状态等参数，通过 DSM-S 接口与其相关联的 SMC 进行信息交互，当 SMC 掌握足够的信息，作一系列的优化算法，最后通过 DSM-C 向 DSL-LT 下发控制参数，使线路工作在最佳的状态。

具体地，DSM 就是自动调整网络中各个调制解调器上的传输功率来达到消除串扰的目的。特别是在 CO/RT 混合应用的情况下短线对长线的串扰影响较大。如图 4 所示，线路 3 对线路 1 的影响要远远大于线路 1 对线路 32 的影响。DSM 的目标就是通过调整发射功率使每个调制解调器在达到自身速率最大化和减少对其它调制解调器的串扰影响之间达到一个平衡。

在现有的 xDSL 标准里，使用 BIT 表项和 GAIN 表项来表明每个子载波所能承载的比特数和发射功率。Bit swapping 技术主要是通过调整这两个表项来达到目的。

BIT 表项（bit table，比特表）如下表 1 所示：

表 1：比特表

TONE1	TONE2	TONE3	TONE4	…	TONE NSC-1
b1	b 2	b 3	b 4	…	b NSC-1

其中，每个比特表项 b 表示 xDSL 线路上对应的子频段 TONE 所能承载的比特数目，标准规定每项不能超过 15。该比特数目的大小决定了对应子频段的线路速率，调整比特表项的大小，即可改变该子频段的线路速率。

实际过程中，一个 BIT 表项确定一个唯一的线路速率，反之线路速率可以通过多个不同的 BIT 表项获得，其中就某种前提条件来说，存在唯一一个最优的 BIT 表项。

GAIN 表项（gain table，增益表）如下表 2 所示：

表 2：增益表

TONE1	TONE2	TONE3	TONE4	…	TONENSC-1
g 1	g 2	g 3	g 4	…	g NSC-1

其中，每个增益表项 g 表示 xDSL 线路上对应的子频段 TONE 的数据发送功率。该功率的大小决定了对应子频段承载的数据量，调整增益表项的大小，即可改变该子频段的数据发送功率。

尽管 DSM 方法可以通过调整功率大大降低串扰的影响，但随着用户对速率需求的不断提升以及用户需求的多样化发展趋势，用户对上、下行速率的要求是随着实际应用需求动态变化的。现有的

xDSL 技术采用固定的频域规划，即每个 TONE 被事先指定为上行或下行传输，其传输方向不发生改变。然而，在实际应用中，用户对上下行速率的要求会随着用户的实际应用而有所区别，这一约束使得线路无法满足用户多样化的需求。简言之，现有的 xDSL 技术采用固定的上下行频域划分和固定的上下行速率已远远不能满足用户多样化的需求。

因此，人们需要一种动态频谱管理方案，能够根据用户需求动态地调整各用户线的速率，以解决上述的问题。

发明内容

本发明旨在提供一种 xDSL 技术中上、下行共用频率的动态频谱管理方法和装置，通过将频域规划（Bandplan Design）和频谱均衡(Spectrum Coordination)结合起来，使线路的传输方向和发送功率根据用户实际需求进行动态调整，以达到用户对上、下行速率的动态变化的需求，从而有效地克服了现有 xDSL 技术固定用户上、下行频域所带来的缺陷。

根据本发明的一个方面，提供了一种 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法，包括以下步骤：步骤 a，生成 xDSL 线路所有子信道的所有可行的上下行方向组合；步骤 b，确定组合中的频谱均衡最优的组合；以及步骤 c：按照最优组合来调整 xDSL 线路的传输方向和发送功率。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法中，步骤 a 包括以下步骤：对所有用户 n=1,2,...,N 和所有子信道 k=1,2,...,K 的上下行传输方向组合进行遍历，找到其中所有满足 $\delta_{k,n}^{up}+\delta_{k,n}^{down}=1$ 且 $\delta_{k,n}^{up},\delta_{k,n}^{down}\in\{0,1\}$ 的组合作为所有可行的上下行方向组合，其中，$\delta_{k,n}^{up}$ 表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为上行传输，$\delta_{k,n}^{up}=1$ 表

示上行传输，$\delta_{k,n}^{up}=0$表示非上行传输；$\delta_{k,n}^{down}$表示第n个用户第k个子信道上是否为下行传输，$\delta_{k,n}^{down}=1$表示下行传输，$\delta_{k,n}^{down}=0$表示非下行传输。

在上述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理方法中，步骤b包括以下步骤：步骤b1，寻找每一种组合中的最优功率分配方案；以及步骤b2，将所有最优功率分配方案进行比较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有最优的最优功率分配方案的组合为最优组合。

在上述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理方法中，步骤b1包括以下步骤：第一步骤，构造数学模型$J_k=w_1b_k^{1,up}+w_2b_k^{1,down}+\sum_{n=2}^{N}(\lambda_n^{up}b_k^{n,up}+\lambda_n^{down}b_k^{n,down})-\sum_{n=1}^{N}\mu_n s_k^n$，其中，$s_k^n$表示在第n条用户线路上第k个子信道的发送功率；$w_1$和$w_2$为给定常数，$\lambda_n^{up},\lambda_n^{down}$和$\mu_n$分别为拉格朗日算子；$b_k^{n,up}$和$b_k^{n,down}$分别表示在第n条用户线第k个子信道上行和下行各自所能承载的比特数；以及第二步骤，对所有可行的上下行方向组合，以子信道为循环单位，从1到K，以δ为最小间隔遍历所有s_k^n，其中k=1,2,...,K，n=1,2,...,N，通过迭代的方式找出使J_k最大同时满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束的功率分配方案，作为最优功率分配方案。

在上述的xDSL上下行共用频率动态频谱管理方法中，第二步骤包括以下步骤：当所有子信道都遍历完毕后，依下列各式动态调整各权重系数：

$\lambda_n^{up}=[\lambda_n^{up}+\varepsilon(R_{n,up}^{target}-R_n^{up})]^+,n=2,...,N$　　$\lambda_n^{down}=[\lambda_n^{down}+\varepsilon(R_{n,down}^{target}-R_n^{down})]^+,n=2,...,N$

$\mu_n=[\mu_n+\varepsilon(\sum_{k=1}^{K}s_k^n-P_n)]^+,n=1,...,N$，直到满足各个用户线的总功率约束和

各用户线的速率约束并到达稳定态为止，由此得到的功率分配方案是使J_k最大的功率分配方案。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法中，第一步骤包括以下步骤：计算J_k时，获取第 k 个子信道的噪声σ_k^n及信道衰减函数$h_k^{n,n}$，噪声σ_k^n包括 xDSL 线路的本底噪声和其他 xDSL 线路的串扰噪声，加载比特速率根据 $b_k^n = \log_2(1+\frac{\left|h_k^{n,n}\right|^2 s_k^n}{\sum_{m\neq n}\left|h_k^{n,m}\right|^2 s_k^m + \sigma_k^n})$ 进行计算。

根据本发明的另一方面，提供了一种 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置，包括：频域规划模块，用于生成 xDSL 线路所有子信道的所有可行的上下行方向组合；最优组合确定模块，用于确定组合中的频谱均衡最优的组合；以及调整模块，用于按照最优组合来调整 xDSL 线路的传输方向和发送功率。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置中，频域规划模块对所有用户 n=1,2,...,N 和所有子信道 k=1,2,...,K 的上下行传输方向组合进行遍历，找到其中所有满足$\delta_{k,n}^{up}+\delta_{k,n}^{down}=1$且$\delta_{k,n}^{up},\delta_{k,n}^{down}\in\{0,1\}$的组合作为所有可行的上下行方向组合，其中，$\delta_{k,n}^{up}$表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为上行传输，$\delta_{k,n}^{up}=1$表示上行传输，$\delta_{k,n}^{up}=0$表示非上行传输；$\delta_{k,n}^{down}$表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为下行传输，$\delta_{k,n}^{down}=1$表示下行传输，$\delta_{k,n}^{down}=0$表示非下行传输。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置中，最优组合确定模块包括：频谱均衡模块，用于寻找每一种组合中的最优功率分配方案；以及比较模块，用于将所有最优功率分配方案进行比

较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有最优的最优功率分配方案的传输方向组合为最优组合。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置中，频谱均衡模块包括：建模模块，用于构造数学模型 $J_k = w_1 b_k^{1,up} + w_2 b_k^{1,down} + \sum_{n=2}^{N}(\lambda_n^{up} b_k^{n,up} + \lambda_n^{down} b_k^{n,down}) - \sum_{n=1}^{N} \mu_n s_k^n$，其中，$s_k^n$ 表示在第 n 条用户线路上第 k 个子信道的发送功率；w_1 和 w_2 为给定常数，$\lambda_n^{up}, \lambda_n^{down}$ 和 μ_n 分别为拉格朗日算子；$b_k^{n,up}$ 和 $b_k^{n,down}$：分别表示在第 n 条用户线第 k 个子信道上行和下行各自所能承载的比特数；以及遍历模块，用于对所有可行的上下行方向组合，以子信道为循环单位，从 1 到 K，以 δ 为最小间隔遍历所有 s_k^n，其中 k=1,2,...,K， n=1,2,...,N，通过迭代的方式找出使 J_k 最大同时满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束的功率分配方案，作为最优功率分配方案。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置中，遍历模块还用于当所有子信道都遍历完毕后，依下列各式动态调整各权重系数：

$\lambda_n^{up} = [\lambda_n^{up} + \varepsilon(R_{n,up}^{target} - R_n^{up})]^+, n = 2,...,N$　　$\lambda_n^{down} = [\lambda_n^{down} + \varepsilon(R_{n,down}^{target} - R_n^{down})]^+, n = 2,...,N$

$\mu_n = [\mu_n + \varepsilon(\sum_{k=1}^{K} s_k^n - P_n)]^+, n = 1,...,N$，直到满足各个用户线的总功率约束和各用户线的速率约束并到达稳定态为止，由此得到的功率分配方案是使 J_k 最大的功率分配方案。

在上述的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置中，建模模块在计算 J_k 时，获取第 k 个子信道的噪声 σ_k^n 及信道衰减函数 $h_k^{n,n}$，噪声 σ_k^n 包括 xDSL 线路的本底噪声和其他 xDSL 线路的串扰噪声，加载比特速率根据 $b_k^n = \log_2(1 + \frac{|h_k^{n,n}|^2 s_k^n}{\sum_{m \neq n} |h_k^{n,m}|^2 s_k^m + \sigma_k^n})$ 进行计算。

通过上述技术方案，本发明实现了如下技术效果：

本发明通过将频域规划（Bandplan Design）和频谱均衡(Spectrum Coordination)结合起来，使线路的传输方向和发送功率根据用户实际需求进行动态调整，以达到用户对上、下行速率的动态变化的需求。从而有效地克服了现有 xDSL 技术固定用户上、下行频域所带来的缺陷，可以满足用户对上下行速率不同需求的要求。

本发明的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述，并且，部分地从说明书中变得显而易见，或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过在所写的说明书、权利要求书、以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解，构成本申请的一部分，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

图 1 示出了相关技术的 xDSL 系统的参考模型；

图 2 示出了相关技术的 VDSL2 的三种主要频谱划分；

图 3 示出了相关技术中的远端串扰和近端串扰示意图；

图 4 示出了相关技术的 CO/RT 混合用户场景示意图；

图 5 示出了相关技术的 DSM 参考模型示意图；

图 6 示出了根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法；

图 7 示出了根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置；

图 8 示出了根据本发明的一个实施例的多用户场景；以及

图 9 示出了根据本发明的在图 8 所示的多用户场景中的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法。

具体实施方式

下面将参考附图详细说明本发明。

本发明的思想是对频域和功率进行整体的设计和优化，来适应用户实际需求的变化，通过将频域规划和频谱均衡结合起来，使线路的传输方向和发送功率根据用户实际需求进行动态调整，以达到用户对上、下行速率的动态变化的需求。

原有技术没有考虑上行和下行同时使用的情况，本发明提出了考虑上行和下行同时使用的情况。下面将具体说明本发明为了解决上行和下行同时使用的问题，而提出的数学模型。

在进行功率分配和调整时，采用以下传输信道模型。在一个采用离散多音频调制（DMT）的 N 个用户，K 个 TONE（子信道）的通信模型中，各个 TONE 上信号传输可独立地表示为：

$$y_k = H_k x_k + \sigma_k \qquad (1)$$

x_k 为第 k 个 TONE 上的输入向量，y_k 为第 k 个 TONE 上的输出向量，x_k 和 y_k 均为 N 维向量。H_k 是第 k 个 TONE 上的 N*N 的传输矩阵，若第 m 个用户和第 n 个用户在第 k 个 TONE 上的传输方向相同，则 $h_k^{n,m}$ 为远端串扰函数；若传输方向相反，则 $h_k^{n,m}$ 为近端串扰

函数。假设每个 modem 将其它 modem 对它的干扰当成噪声，则第 n 个用户在第 k 个 TONE 上可达到的数据速率可用香农信道容量公式计算:

$$b_k^n = \log_2(1+\frac{\left|h_k^{n,n}\right|^2 s_k^n}{\sum_{m\neq n}\left|h_k^{n,m}\right|^2 s_k^m + \sigma_k^n}) \qquad (2)$$

动态频谱管理问题可描述如下：各个用户线上总发射功率要满足一定的约束；单个 TONE 上的发射功率要满足功率谱密度约束；约定第 2 到第 N 个用户的上、下行速率要达到一定的数值。目标为优化第 1 个用户线上下行方向的加权速率。约束和目标可根据实际需求的变化进行相应的调整。动态频谱管理问题即通过调整各个用户线在各个 TONE 上的传输方向和发射功率，使其在满足上述约束的前提下使目标函数值最大。

用 $\delta_{k,n}^{up}$ 和 $\delta_{k,n}^{down}$ 表示第 n 个用户在第 k 个 TONE 上的上行传输和下行传输，其取值为 0 或 1。$\delta_{k,n}^{up}$=1 表示上行传输，$\delta_{k,n}^{down}$=1 表示下行传输，二者满足 $\delta_{k,n}^{up}+\delta_{k,n}^{down}$=1,即一个 TONE 同一时刻只能上行传输或下行传输；s_k^n 表示第 n 个用户在第 k 个 TONE 上的功率分配，其取值要满足 PSD mask 约束。其中 $h_k^{n,m}=\begin{cases} h_{k,FEXT}^{n,m}, if(\delta_{k,m}^{up}=\delta_{k,n}^{up}); \\ h_{k,NEXT}^{n,m}, if(\delta_{k,m}^{up}\neq\delta_{k,n}^{up}). \end{cases}$，即若第 m 个用户和第 n 个用户在第 k 个 TONE 上的传输方向相同，则 $h_k^{n,m}$ 为远端串扰函数；若传输方向相反，则 $h_k^{n,m}$ 为近端串扰函数。该函数可通过线路的物理特性和拓扑结构获得。

因此，本发明提出，DSM 问题的数学形式可描述如下:

$$\max_{s_1,\ldots,s_N} w_1 R_1^{up} + w_2 R_1^{down}$$
$$s.t. R_n^{up} \geq R_{n,up}^{target}, R_n^{down} \geq R_{n,down}^{target}, n = 2,3,\ldots,N$$
$$s.t. \sum_{k=1}^{K} s_k^n \leq P_n, n = 1,2,\ldots,N \quad (3)$$
$$s.t. 0 \leq s_k^n \leq s_{\max}, k = 1,\ldots,K; n = 1,\ldots,N$$
$$s.t. \delta_{k,n}^{up} + \delta_{k,n}^{down} = 1, \delta_{k,n}^{up}, \delta_{k,n}^{down} \in \{0,1\}, k = 1,2,\ldots K; n = 1,2,\ldots N$$

其中，

$R_n^{up} = \sum_{k=1}^{K} b_k^n \delta_{k,n}^{up}$， $R_n^{down} = \sum_{k=1}^{K} b_k^n \delta_{k,n}^{down}$；

$R_{n,up}^{target}$， $R_{n,down}^{target}$， P_n， w_1， w_2和$s_{\max}$均为给定常数。

本发明中，对于 DSM，任一个 TONE 的上、下行传输方向在初始化阶段可根据用户的实际应用动态调整来确定，不再如图 1 中那样固定每个 TONE 的上、下行传输方向。所以优化变量包括$\delta_{k,n}^{up}$，$\delta_{k,n}^{down}$和s_k^n（k=1,2,…,K; n=1,2,…,N）。该模型可理解为允许上下行共用频率情况下的 DSM。求解此问题可以采用对偶方法，引入拉格朗日权系数$\lambda_n^{up}, \lambda_n^{down}, n = 2,\ldots,N$和$\mu_n, n = 1,\ldots,N$。式（3）可转化为：

$$\max_{s_1,\ldots,s_N} w_1 R_1^{up} + w_2 R_1^{down} + \sum_{n=2}^{N} (\lambda_n^{up} R_n^{up} + \lambda_n^{down} R_n^{down}) - \sum_{n=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} \mu_n s_k^n$$
$$s.t. 0 \leq s_k^n \leq s_{\max}, k = 1,\ldots,K; n = 1,\ldots,N$$
$$s.t. \delta_{k,n}^{up} + \delta_{k,n}^{down} = 1, \delta_{k,n}^{up}, \delta_{k,n}^{down} \in \{0,1\}, k = 1,2,\ldots K; n = 1,2,\ldots N \quad (4)$$

其中，

s_k^n：表示在第 n 条用户线路上第 k 个 TONE 的发送功率；

σ_k^n：表示第 n 个用户在第 k 个 TONE 上接收到的噪声信号；以及

w_1和w_2：给定常数，

λ_n^{up},λ_n^{down}和μ_n：分别表示为拉格朗日算子；

$b_k^{n,up}$和$b_k^{n,down}$：分别表示在第 n 条用户线第 k 个 TONE 上行和下行各自所能承载的比特数

$\delta_{k,n}^{up}$：表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为上行传输，仅当$\delta_{k,n}^{up}=1$表示上行传输；

$\delta_{k,n}^{down}$：表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为下行传输，仅当$\delta_{k,n}^{down}=1$表示下行传输。

R_n^{target}：表示线路的目标速率。

式(4)又可分解为 K 个 TONE 上独立的目标函数来求解，用J_k来表示式(4)中第 k 个 TONE 上的函数：

$$J_k = w_1 b_k^{1,up} + w_2 b_k^{1,down} + \sum_{n=2}^{N}(\lambda_n^{up} b_k^{n,up} + \lambda_n^{down} b_k^{n,down}) - \sum_{n=1}^{N}\mu_n s_k^n \qquad (5)$$

其中，

s_k^n：表示在第 n 条用户线路上第 k 个 TONE 的发送功率；

w_1和w_2：给定常数，

λ_n^{up},λ_n^{down}和μ_n：分别表示为拉格朗日算子；

$b_k^{n,up}$和$b_k^{n,down}$：分别表示在第 n 条用户线第 k 个 TONE 上行和下行各自所能承载的比特数

$\delta_{k,n}^{up}$：表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为上行传输，仅当 $\delta_{k,n}^{up}=1$表示上行传输；

$\delta_{k,n}^{down}$：表示第 n 个用户第 k 个子信道上是否为下行传输，仅当 $\delta_{k,n}^{down}=1$表示下行传输。

因此，可以通过列举各个 TONE 的传输方向和发射功率来求得(5)式的最大值，然后动态调整各个权系数的值。不断重复这一过程直到各约束满足且计算收敛为止。

从以上的分析中可以看到，本发明在从 3 式到 5 式的推导过程中使用了对偶方法（参见 R. Cendrillon, W. Yu, M. Moonen, J. Verlinden, and T. Bostoen, "Optimal multi-user spectrum management for digital subscriber lines," accepted by IEEE Transactions on Communications, 2005.），但是，本发明提出了一种新的数学模型，与现有技术不同之处在于，现有技术只考虑在固定频谱规划下的功率分配，而完全没有考虑上下行共用频率。因此，本发明的数学模型 3 式和现有技术中的数学模型完全不同。

根据上述的分析，提出了本发明。下面将参照图 6 和图 7 来详细说明根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法和装置。

图 6 示出了根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法；图 7 示出了根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置 **100**。

如图 6 所示，根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法包括以下步骤：

步骤 S102，生成所有 TONE 的所有可行的上下行方向组合；

步骤 S105，确定所有可行的上下行方向组合中的最优组合；以及

步骤 S108：按照该最优组合来调整线路的传输方向和发送功率。

可选地，步骤 S105 包括以下步骤：

步骤 S104，寻找每一种组合中的最优功率分配方案，其中，可选地，构造数学模型 $J_k = w_1 b_k^{1,up} + w_2 b_k^{1,down} + \sum_{n=2}^{N} (\lambda_n^{up} b_k^{n,up} + \lambda_n^{down} b_k^{n,down}) - \sum_{n=1}^{N} \mu_n s_k^n$，其中，$s_k^n$：表示在第 n 条用户线路上第 k 个 TONE 的发送功率；w_1和w_2为给定常数，$\lambda_n^{up}, \lambda_n^{down}$和$\mu_n$分别为拉格朗日算子；$b_k^{n,up}$和$b_k^{n,down}$：分别表示在第 n 条用户线第 k 个 TONE 上行和下行各自所能承载的比特数。，利用该数学模型来找到每一种组合中的最优功率分配方案；以及

步骤 S106，将所有最优功率分配方案进行比较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有该最优的最优功率分配方案的组合为最优组合。

从以上的方法中可以看到，步骤 S102 用于实现频域规划，步骤 S104 用于实现频谱均衡，通过步骤 S102 至步骤 S106 实现了将频域规划和频谱均衡结合起来，从而实现了使线路的传输方向和发送功率根据用户实际需求进行动态调整，以达到用户对上、下行速率的动态变化的需求。

如图 7 所示，根据本发明的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理装置 **100** 包括：

频域规划模块 **102**，用于生成所有 TONE 的所有可行的上下行方向组合；

最优组合确定模块 **105**，用于确定所有可行的上下行方向组合中的最优组合；以及

调整模块 **108**，用于按照该最优组合来调整线路的传输方向和发送功率。

可选地，最优组合确定模块 **105** 包括：

频谱均衡模块 **104**，用于寻找每一种组合中的最优功率分配方案；以及

比较模块 **106**，用于将所有最优功率分配方案进行比较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有该最优的最优功率分配方案的组合为最优组合。

下面将结合图 8 和图 9 来详细描述根据本发明的一个实施例的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法。

图 8 示出了根据本发明的一个实施例的多用户场景；图 9 示出了根据本发明的在图 8 所示的多用户场景中的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法。

在如图 8 所示的多用户场景中，假设所有的连接都在正常工作，每一对收发器都有一个已经确定的比特分配表项（B）和每一个 TONE 上分配的发送功率谱密度值（PSD）。在这里，考虑最大化图 5 中第一条线路的上下行加权传输速率。那么如图 9 所示，根据本发明的在图 8 所示的多用户场景中的 xDSL 上下行共用频率动态频谱管理方法包括以下步骤：

步骤 S202：设置以下参数的初始化系数：

$\lambda_n^{up},\lambda_n^{down},\mu_n$、ε、功率调整间隔 δ、$R_{n,up}^{target}$，$R_{n,down}^{target}$，$P_n$，$w_1$，$w_2$和$s_{\max}$

步骤 S204：生成所有 TONE 的所有可行的上下行方向组合：

首先最外层循环对各个 TONE 的所有上下行组合进行遍历。即对所有 k=1,2,...,K 和 n=1,2,...,N，遍历所有满足 $\delta_{k,n}^{up}+\delta_{k,n}^{down}=1$且$\delta_{k,n}^{up},\delta_{k,n}^{down}\in\{0,1\}$的组合；

步骤 S206：遍历步骤 S204 中每一种组合，寻找每一种组合中的最优功率分配方案：

步骤 S10：对于步骤 S204 中每一种上下行方向组合，以 TONE 为循环单位（从 1 到 K），以 δ 为最小间隔遍历所有 s_k^n（k=1,2,...,K; n=1,2,...,N），即 s_k^n可取值为(0, δ, 2δ,..., $s_{\max}$)，共有$|s_{\max}/\delta+1|$种取法。找出使公式(5)中使J_k最大的功率分配方案。计算J_k时，可根据 G.997.1 标准规定获取第 k 个 TONE 的噪声（σ_k^n）及信道衰减函数$h_k^{n,n}$，噪声σ_k^n包括线路的本底噪声和其他线路的串扰噪声。加载比特速率可根据公式(2)进行计算。

步骤 S20：当所有 TONE 都遍历完毕后，依下式动态调整各权重系数：

$\lambda_n^{up}=[\lambda_n^{up}+\varepsilon(R_{n,up}^{target}-R_n^{up})]^+,n=2,...,N$　　$\lambda_n^{down}=[\lambda_n^{down}+\varepsilon(R_{n,down}^{target}-R_n^{down})]^+,n=2,...,N$

$\mu_n=[\mu_n+\varepsilon(\sum_{k=1}^{K}s_k^n-P_n)]^+,n=1,...,N$。重复步骤 S206,直到满足各约束条件并到达稳定态为止。步骤 S20 步骤更新的各权重系数的值不发生变化时，表明整个频谱的分配达到一个稳定值。这个时候可认为功率分配到达平衡点。

步骤 S208：寻找最优组合：

将步骤 S206 中得到的所有最优功率分配方案进行比较，得到其中最优的最优功率分配方案，并确定具有该最优的最优功率分配方案的组合为最优组合，其中，最优方案即为使 5 式中目标函数 $w_1R_1^{up}+w_2R_1^{down}$ 最大的方案。

步骤 S210：按照该最优组合来调整线路的传输方向和发送功率，从而实现根据用户实际需求进行动态调整。

从上述的实施例中可以看出，本发明通过引入拉格朗日因子和采用对偶方法，保证了功率分配的最优性。对于用户数不太大的情形，本发明可有效地实施。还可以通过迭代的方式减化计算，如文献 R. Cendrillon and M. Moonen, "Iterative spectrum balancing for digital subscriber lines," Proc. IEEE ICC, 2005，文献 W. Yu, G. Ginis, and J. Cioffi, "Distributed multiuser power control for digital subscriber lines," IEEE Journal on Selected, Areas in Communication, vol. 20, no. 5, pp. 1105–1115, June 2002 和文献 J. Huang, R. Cendrillon and M. Chiang. "Autonomous spectrum balancing(ASB) for frequency selective interference channels"中的 ISB,IWF 和 ASB 方法。对于本领域的技术人员而言，本发明可简单地推广到以上三种方法中。

在上述的实施例中认为所有的子信道都可以动态调整传输方向来达到用户的速率要求，但实际中可以固定某些频段的传输方向，只允许一部分频段的传输方向进行动态变化。这样也可以达到满足用户需求的目的。数学模型和解决方案可以由该实施例描述的方案进行简单地推广，即事先固定某些 TONE 的传输方向。应该注意，上述的实施例只是本发明的一个特例，决不是用于限定本发明。

从以上的描述中，可以看出，本发明实现了如下技术效果：

本发明通过将频域规划（Bandplan Design）和频谱均衡(Spectrum Coordination)结合起来，使线路的传输方向和发送功率根据用户实际需求进行动态调整，以达到用户对上、下行速率的动态变化的需求。从而有效地克服了现有 xDSL 技术固定用户上、下行频域所带来的缺陷，可以满足用户对上下行速率不同需求的要求。

以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

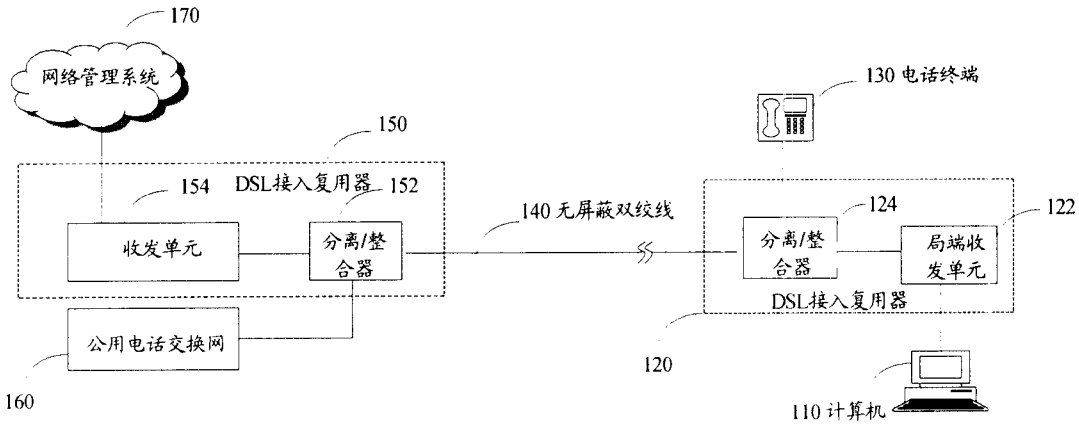

170
网络管理系统
150
154
DSL接入复用器
152
收发单元
分离/整合器
140 无屏蔽双绞线
130 电话终端
124
122
分离/整合器
局端收发单元
DSL接入复用器
公用电话交换网
160
120
110 计算机

图 1

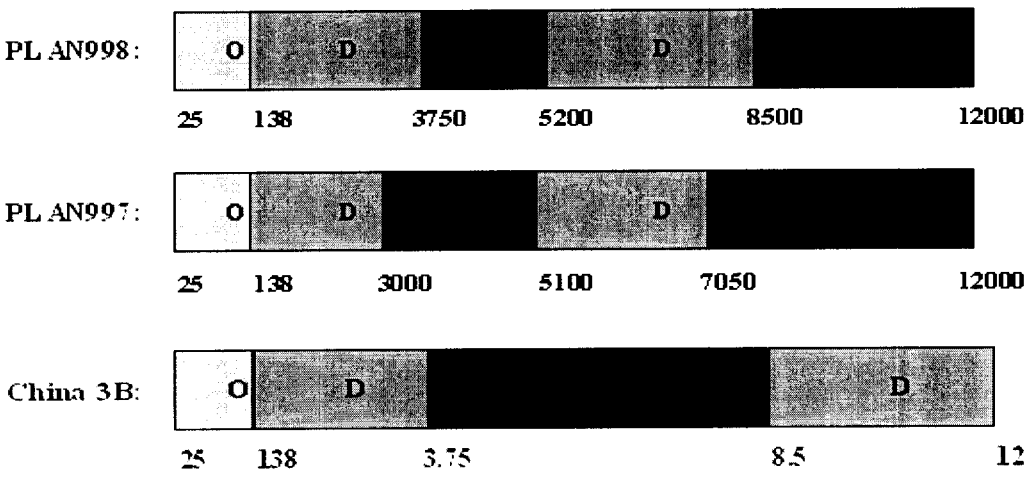

PLAN998:
O
D
D
25
138
3750
5200
8500
12000
PLAN997:
O
D
D
25
138
3000
5100
7050
12000
China 3B:
O
D
D
25
138
3.75
8.5
12

图 2

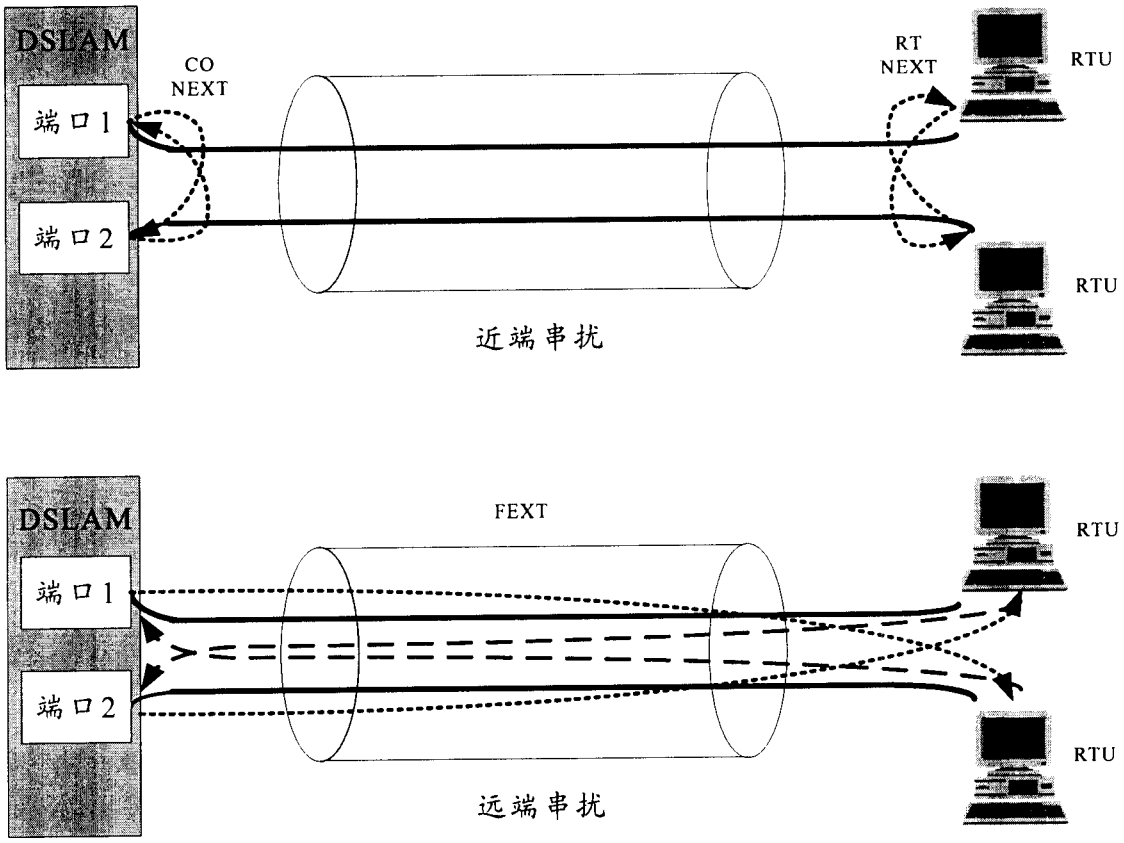

DSLAM
端口1
端口2
CO
NEXT
RT
NEXT
RTU
RTU
近端串扰
DSLAM
端口1
端口2
FEXT
RTU
RTU
远端串扰

图 3

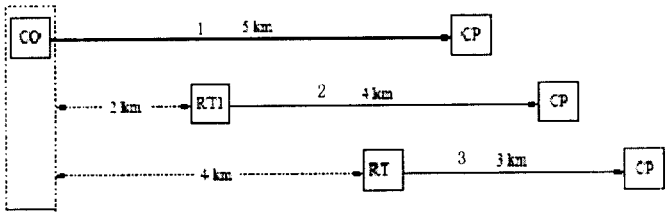

CO
1 5 km
CP
2 km
RT1
2 4 km
CP
4 km
RT
3 3 km
CP

图 4

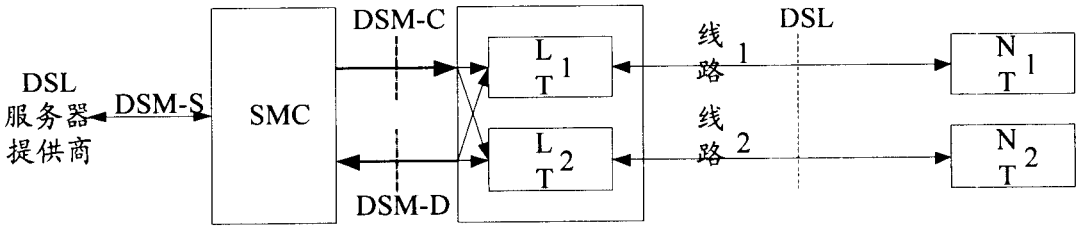

DSL
服务器
提供商
DSM-S
SMC
DSM-C
DSM-D
LT1
LT2
线路1
线路2
DSL
NT1
NT2

图 5

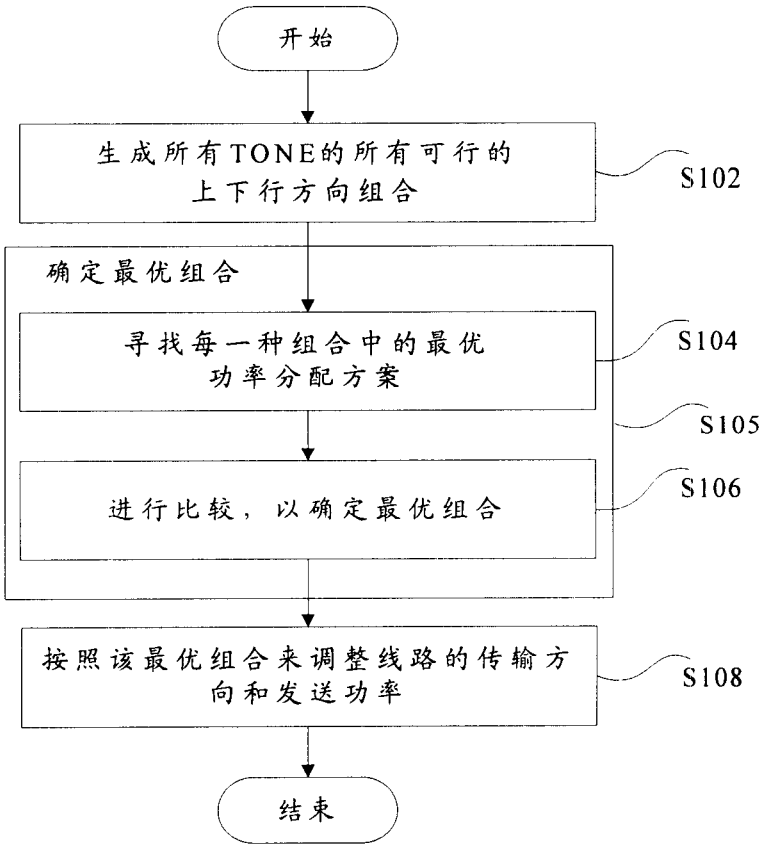

开始
生成所有TONE的所有可行的上下行方向组合
S102
确定最优组合
寻找每一种组合中的最优功率分配方案
S104
S105
进行比较，以确定最优组合
S106
按照该最优组合来调整线路的传输方向和发送功率
S108
结束

图 6

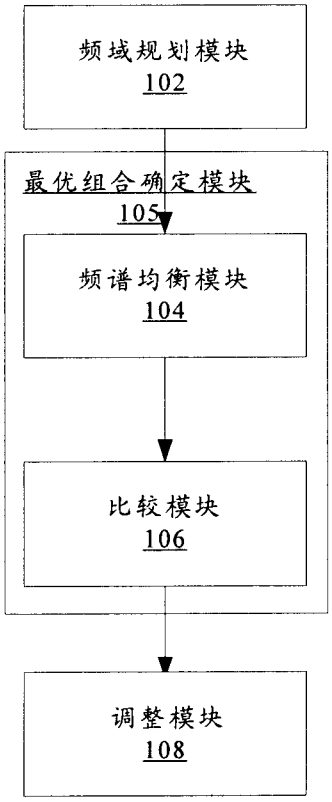


图 7

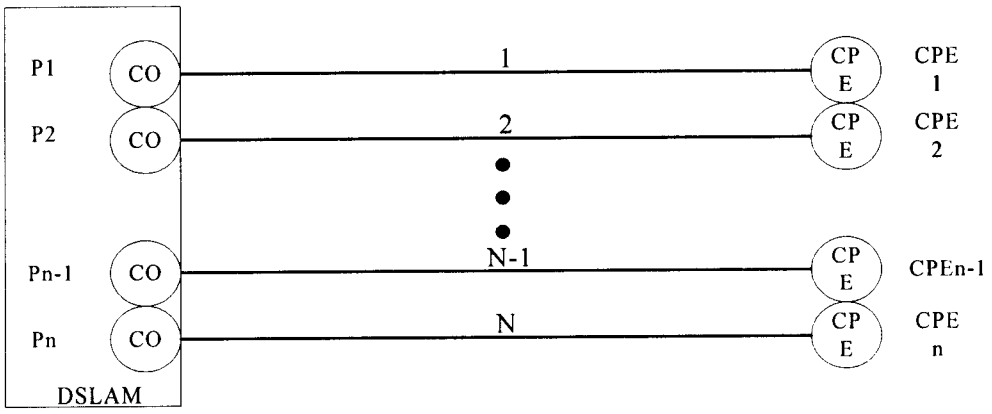

P1
CO
1
CPE
CPE
1
P2
CO
2
CPE
CPE
2
Pn-1
CO
N-1
CPE
CPEn-1
Pn
CO
N
CPE
CPE
n
DSLAM

图 8

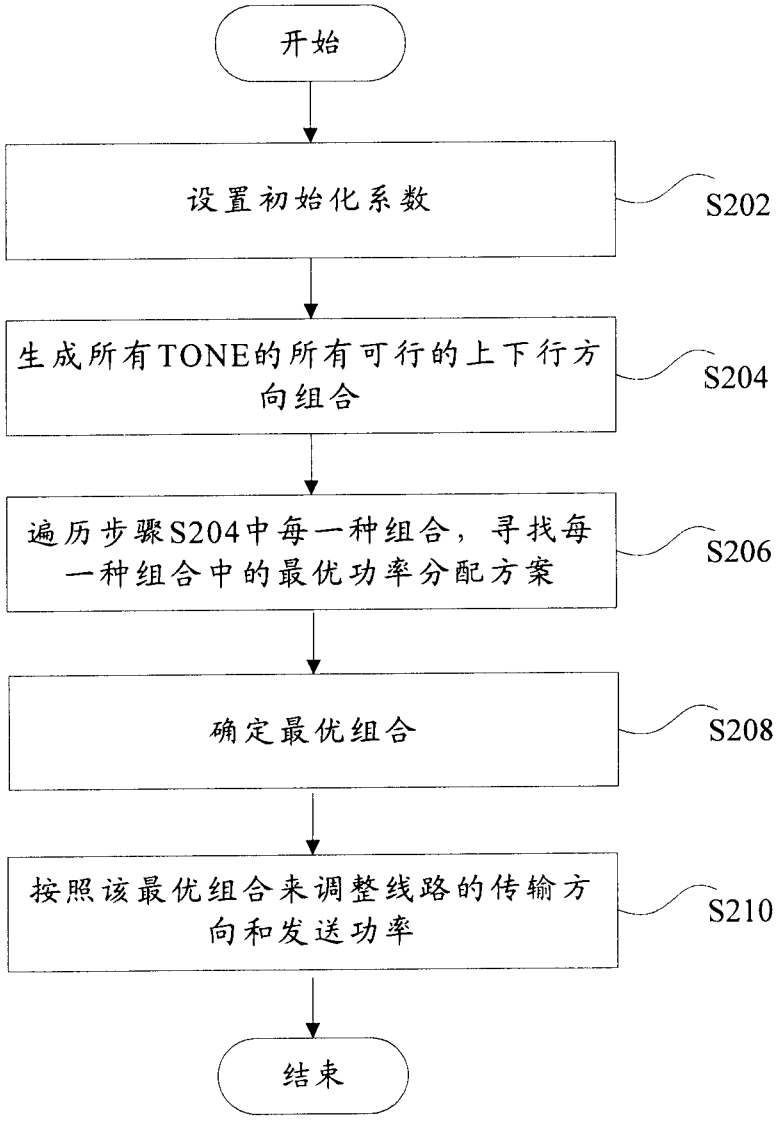

开始
设置初始化系数
S202
生成所有TONE的所有可行的上下行方向组合
S204
遍历步骤S204中每一种组合，寻找每一种组合中的最优功率分配方案
S206
确定最优组合
S208
按照该最优组合来调整线路的传输方向和发送功率
S210
结束

图 9