



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103607222 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 26

(21) 申请号 201310616416. 1

(22) 申请日 2013. 11. 27

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 中国电力科学研究院

(72) 发明人 刘伟麟 歌德·布米勒 杨冰

陆阳 高鸿坚 李建岐 陶锋

赵涛

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有

限公司 11271

代理人 徐国文

(51) Int. Cl.

H04B 3/54 (2006. 01)

H04L 27/26 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种跨频带电力线通信频率的自学习方法

(57) 摘要

本发明涉及跨频带电力线通信的方法,具体涉及一种跨频带电力线通信频率的自学习方法。该方法应用的频率范围为 150kHz-12MHz,所述方法包括下述步骤:(1) 确定默认工作频率组;(2) 采用前导序列对默认工作频率组进行预选择,将无法正确检测到前导序列的默认工作频率剔除,正确检测到前导序列的默认工作频率作为潜在工作频率;(3) 在潜在工作频率上,主站与从站间传输控制包,确定最佳工作频率。本发明的方法能够在很宽的频谱范围内自学习最佳频率(中心频点与带宽),因此能够根据实际的信道条件自适应其频率和数据速率,从而提高有效性、扩大覆盖范围,并减少人为干预。



1. 一种跨频带电力线通信频率的自学习方法,其特征在于,所述方法应用的频率范围为 150kHz-12MHz,所述方法包括下述步骤:

(1) 确定默认工作频率组;

(2) 采用前导序列对默认工作频率组进行预选择,将无法正确检测到前导序列的默认工作频率剔除,正确检测到前导序列的默认工作频率作为潜在工作频率;

(3) 在潜在工作频率上,主站与从站间传输控制包,确定最佳工作频率。

2. 如权利要求 1 所述的自学习方法,其特征在于,所述步骤(1)中,默认工作频率组从以下三个频段中选择:150kHz 至 500kHz 的低频频段、500kHz 至 1.6MHz 的中频频段以及 1.6MHz 至 12MHz 的高频频段;低频频段选出的默认频率带宽小于高频频段中选出的默认频率带宽;默认频率带宽选定为互为倍数。

3. 如权利要求 1 所述的自学习方法,其特征在于,所述步骤(2)中,搜索电力线网络上的两个电力线通信 PLC 节点间的最佳频率;发送参考信号的节点称为主站,将另一节点称为从站;将主站到从站的链路称为下行链路,将从站到主站的链路称为上行链路;

在每个默认频率上使用电力线通信的定时方法中定义的前导信号,用于潜在工作频率的初始同步和预选择;

定义一个包括所有默认频率组前导信号的前导时隙,即 PRMBL 时隙;其中包括所有默认频率的前导序列,所有前导序列在 PRMBL 时隙中均位于确定的时间位置,并且无重叠;根据预定的规则排列 PRMBL 时隙中的前导序列。

4. 如权利要求 3 所述的自学习方法,其特征在于,根据预定的规则排列 PRMBL 时隙中的前导序列包括:首先排列带宽相对小和频率相对低的前导序列,将带宽相对大和频率相对高的前导序列排在之后的时间位置上;

对于给定的频率,下行链路和上行链路采用不同的前导序列用于初始化信令,所述不同的前导序列时间长度相等,自相关特性相同。

5. 如权利要求 1 所述的自学习方法,其特征在于,所述步骤(2)中,所述潜在工作频率包括潜在下行工作频率和潜在上行工作频率。

6. 如权利要求 5 所述的自学习方法,其特征在于,确定潜在的下行工作频率包括:主站在下行链路以固定的时间间隔发送 PRMBL 时隙,从站则开始在某一默认工作频率上扫描前导序列,当经过一定时间后,如无法在当前频率上检测到前导序列,则切换至下一个默认频率进行检测;当所有默认工作频率被扫描之后,如果仍然无法检测到前导序列,且未收到除扫描前导序列操作的其他操作命令,从站继续循环开始扫描过程;

如果从站成功的在某一默认工作频率上检测到前导序列,则与下行链路的 PRMBL 时隙取得同步,获得全部默认工作频率出现的定时信息,根据定时信息,从站将继续评估之后 N 个连续的 PRMBL 时隙,用以确定潜在下行工作频率;

确定潜在的上行工作频率包括:当从站检测到下行 PRMBL 时隙后,发送上行 PRMBL 时隙,在时间上,上行 PRMBL 时隙的位置与下行 PRMBL 时隙的位置相连;主站已知可能的上行 PRMBL 时隙的出现时间;主站在已知的时间位置扫描上行 PRMBL 时隙;同时主站评估 N 个上行 PRMBL 时隙以确定潜在上行工作频率。

7. 如权利要求 1 所述的自学习方法,其特征在于,所述步骤(3)中,上行链路与下行链路使用同一潜在的工作频率,主站与从站协商并最终确定最佳工作频率;

从站预选择并将潜在工作频率排序后,在上行链路 PRMBL 时隙中发送选定的潜在工作频率的前导序列,随后在选定的潜在工作频率上向主站发送控制包;

在传输下行链路 PRMBL 时隙后传输上行链路 PRMBL 时隙;在上行链路 PRMBL 时隙中检测到前导序列后,主站在所检测到的前导序列的频率上顺序接收控制包,成功接收到从站发送的控制包后,主站以原有的相应频率回复确认接收。

8. 如权利要求 7 所述的自学习方法,其特征在于,由从站排序最优的潜在工作频率上发送控制包,如果从站未能接收到主站以该频率发送的接收确认,则切换到下一个排序次优的频率,直到从站收到主站以与从站相同潜在工作频率上回复确认接收的信号时,停止切换;所述主站与从站传输控制包时相同的潜在工作频率即为最终的最佳工作频率。

9. 如权利要求 7 所述的自学习方法,其特征在于,所述控制包包括前导序列和控制数据;所述前导序列为一个前导信号,所述控制数据为一个或一个以上的 OFDM 符号。

10. 如权利要求 7 所述的自学习方法,其特征在于,主站不必在 PRMBL 时隙上发送全部前导序列,即发送部分默认工作频率的前导序列,且将不使用的默认工作频率位置留空;

所述自学习方法采用 PRMBL 时隙降低相邻电力线通信网络之间的潜在干扰,将默认频率分为不同的子集,不同子集之间的频率没有交集;不同电力线通信网络的主站在相应的 PRMBL 时隙中使用不重叠的频率子集,用于避免干扰的产生;

主站选择发送所有默认工作频率子集的前导序列,用于控制实际使用的默认工作频率,优化网络的运行。

## 一种跨频带电力线通信频率的自学习方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及跨频带电力线通信的方法,具体涉及一种跨频带电力线通信频率的自学习方法。

### 背景技术

[0002] 电力线通信(PLC)信道复杂多变。不同于无线通信系统,在电力线信道上,衰减、干扰等主要电力线信道特性与频率密切相关,具体的,如衰减与电网拓扑、线缆材质、链路距离等密切相关。这种与频率相关的信道特性往往不会随时间快速变化,其仅随网络拓扑等变化而变化,如地理电力线的衰减随频率与距离增加而变大,这也限制了宽带 PLC (BPL) 的可传输距离。窄带 PLC (NPLC) 通常具有较低的衰减,可以传输较远的距离,然而窄带 PLC 受噪声影响严重(噪声通常随频率增加而指数减少)。单纯的架空电力线即使在较高的频率也具有非常低的衰减;然而,如果架空线连接了一段即便很短的地理线时,由于反射造成的频率选择性衰减将变得显而易见。通常一个可以用来通信的较小频率窗口是存在的,但这一频率窗口可能与电网结构和线缆材质密切相关。

[0003] 因此,由于网络拓扑与部署的差异巨大,我们通常无法预先得知哪个频段是最佳的。所以,真正的最佳频段需要“在线自学习”。

[0004] 前沿的 PLC 技术可以分为使用 2 兆赫兹以上频段的宽带 PLC (BPL) 和使用 500 千赫兹以下的窄带 PLC (NPLC)。宽带 PLC 的代表有 OPERA (开放电力线通信研究联盟) 和 Home-Plug。ITU-T. G. hn 与 OPERA 技术相似, IEEE1901. 1 则采用了 Home-Plug 的大部分技术。窄带 PLC 系统的代表有 PRIME 和 G3。所有这些系统都使用了预先定义的频段。有些系统仅使用单一的频段,如 PRIME;而有些系统虽然具有多个工作频段,但需要预先定义工作频段。在工作频段内也具有一些自适应技术,如根据 OFDM 子载波的信噪比进行自适应比特加载,从而自适应的调整数据速率。

[0005] OPERA 在 2-34 兆赫兹的范围内使用 OFDM 技术,工作频率带宽为 10 兆赫兹、20 兆赫兹和 30 兆赫兹,也可通过陷波技术实现 5 兆赫兹的带宽。然而,对于低压地理电力线网络,由于在分支节点处的阻抗不匹配引起的电缆衰减和反射可能导致严重的频率选择性衰减,使得只有一个小的频率窗口(如小于 1 兆赫兹)可以用于通信。在这种情况下,最小可配置带宽为 5 兆赫兹的 OPERA 可能无法工作。除了需要一个频率自学习的机制来识别这个可用于通信的小频率窗口,OPERA 只能使用 2 兆赫兹以上的频率也严重的限制了在长距离网络中的应用。PRIME 使用从 47 千赫兹和 89 千赫兹的固定频段。对于低压网络,在低频频段的接入阻抗通常非常小,同时,由于家用电器引起的噪声非常高。因此,无法将工作频段移至较高频率是目前 PRIME 设计的重要缺陷。G3 在 10 千赫兹至 500 千赫兹之间支持多种频段,然而同样需要预先定义需要使用的的工作频段,无法使系统自适应工作频率。同样,由于 G3 的频率限制在 500 千赫兹以内,在一些噪声较大的信道环境下,高频频段的优势无法得到发挥。另外,在衰减较小、但对系统延时和系统带宽要求较高的应用场景下,只有支持工作频率在 2 兆赫兹以上的 PLC 系统才能够满足要求。

[0006] 几乎所有的 PLC 系统都工作在预先设定的频率下。通常一个主站节点在每个频率上发送信标,使从站在其频率上实现同步并注册到网络。然而,由于复杂度的原因,系统往往同时只使用一个频率,如 PRIME、G3、OPERA、HOMEPUG 等。绝大部分 PLC 系统属于异步包交换网络中。在异步包交换网络中,通常需要在物理层突发的开始位置增加参考信号,用于检测突发数据包的出现和起始位置。PRIME 使用一个 chirp 信号作为前导序列使用 [7], Chirp 信号具有很好的自相关函数。其他 PLC 系统,如 OPERA、HOMEPLUG 和 G3 使用已知的 OFDM 符号作为前导序列使用,进行定时和突发数据同步。以上所有 PLC 系统均在一个已知的工作频率上使用前导序列进行同步,没有一个 PLC 系统使用前导序列进行多种工作频率的评估和预选择。

## 发明内容

[0007] 针对现有技术的不足,本发明的目的是提供一种跨频带电力线通信频率的自学习方法,本发明的方法能够在很宽的频谱范围内自学习最佳频率(中心频点与带宽),因此能够根据实际的信道条件自适应其频率和数据速率,从而提高有效性、扩大覆盖范围,并减少人为干预。

[0008] 本发明的目的是采用下述技术方案实现的:

[0009] 本发明提供一种跨频带电力线通信频率的自学习方法,其改进之处在于,所述方法应用的频率范围为 150kHz-12MHz,所述方法包括下述步骤:

[0010] (1) 确定默认工作频率组;

[0011] (2) 采用前导序列对默认工作频率组进行预选择,将无法正确检测到前导序列的默认工作频率剔除,正确检测到前导序列的默认工作频率作为潜在工作频率;

[0012] (3) 在潜在工作频率上,主站与从站间传输控制包,确定最佳工作频率。

[0013] 进一步地,所述步骤(1)中,默认工作频率组从以下三个频段中选择:150kHz 至 500kHz 的低频频段、500kHz 至 1.6MHz 的中频频段以及 1.6MHz 至 12MHz 的高频频段;低频频段选出的默认频率带宽小于高频频段中选出的默认频率带宽;默认频率带宽选定为互为倍数。

[0014] 进一步地,所述步骤(2)中,搜索电力线网络上的两个电力线通信 PLC 节点间的最佳频率;发送参考信号的节点称为主站,将另一节点称为从站;将主站到从站的链路称为下行链路,将从站到主站的链路称为上行链路;

[0015] 在每个默认频率上使用电力线通信的定时方法中定义的前导信号,用于潜在工作频率的初始同步和预选择;

[0016] 定义一个包括所有默认频率组前导信号的前导时隙,即 PRMBL 时隙;其中包括所有默认频率的前导序列,所有前导序列在 PRMBL 时隙中均位于确定的时间位置,并且无重叠;根据预定的规则排列 PRMBL 时隙中的前导序列。

[0017] 进一步地,根据预定的规则排列 PRMBL 时隙中的前导序列包括:首先排列带宽相对小和频率相对低的前导序列,将带宽相对大和频率相对高的前导序列排在之后的时间位置上;

[0018] 对于给定的频率,下行链路和上行链路采用不同的前导序列用于初始化信令,所述不同的前导序列时间长度相等,自相关特性相同。

[0019] 进一步地,所述步骤(2)中,所述潜在在工作频率包括潜在下行工作频率和潜在上行工作频率。

[0020] 进一步地,确定潜在的下行工作频率包括:主站在下行链路以固定的时间间隔发送 PRMBL 时隙,从站则开始在某一默认工作频率上扫描前导序列,当经过一定时间(由系统帧结构决定,如 100 毫秒左右)后,如无法在当前频率上检测到前导序列,则切换至下一个默认频率进行检测;当所有默认工作频率被扫描之后,如果仍然无法检测到前导序列,且未收到除扫描前导序列操作的其他操作命令,从站继续循环开始扫描过程;

[0021] 如果从站成功的在某一默认工作频率上检测到前导序列,则与下行链路的 PRMBL 时隙取得同步,获得全部默认工作频率出现的定时信息,根据定时信息,从站将继续评估之后 N 个连续的 PRMBL 时隙,用以确定潜在下行工作频率;

[0022] 确定潜在的上行工作频率包括:当从站检测到下行 PRMBL 时隙后,发送上行 PRMBL 时隙,在时间上,上行 PRMBL 时隙的位置与下行 PRMBL 时隙的位置相连;主站已知可能的上行 PRMBL 时隙的出现时间;主站在已知的时间位置扫描上行 PRMBL 时隙;同时主站评估 N 个上行 PRMBL 时隙以确定潜在上行工作频率。

[0023] 进一步地,所述步骤(3)中,上行链路和下行链路使用同一潜在的工作频率,主站与从站协商并最终确定最佳工作频率;

[0024] 从站预选择并将潜在在工作频率排序后,在上行链路 PRMBL 时隙中发送选定的潜在工作频率的前导序列,随后在选定的潜在在工作频率上向主站发送控制包;

[0025] 在传输下行链路 PRMBL 时隙后传输上行链路 PRMBL 时隙;在上行链路 PRMBL 时隙中检测到前导序列后,主站在所检测到的前导序列的频率上顺序接收控制包,成功接收到从站发送的控制包后,主站以原有的相应频率回复确认接收。

[0026] 进一步地,由从站排序最优的潜在在工作频率上发送控制包,如果从站未能接收到主站以该频率发送的接收确认,则切换到下一个排序次优的频率,直到从站收到主站与从站相同潜在在工作频率上回复确认接收的信号时,停止切换;所述主站与从站传输控制包时相同的潜在在工作频率即为最终的最佳工作频率。

[0027] 进一步地,所述控制包包括前导序列和控制数据;所述前导序列为一个前导信号,所述控制数据为一个或一个以上的 OFDM 符号。

[0028] 进一步地,主站不必在 PRMBL 时隙上发送全部前导序列,即发送部分默认工作频率的前导序列,且将不使用的默认工作频率位置留空;

[0029] 所述自学习方法采用 PRMBL 时隙降低相邻电力线通信网络之间的潜在干扰,将默认频率分为不同的子集,不同子集之间的频率没有交集;不同电力线通信网络的主站在相应的 PRMBL 时隙中使用不重叠的频率子集,用于避免干扰的产生;

[0030] 主站选择发送所有默认工作频率子集的前导序列,用于控制实际使用的默认工作频率,优化网络的运行。

[0031] 与现有技术比,本发明达到的有益效果是:

[0032] 本发明提供的跨频带电力线通信频率的自学习方法,能够在很宽的频谱范围内自学习最佳频率(中心频点与带宽),因此能够根据实际的信道条件自适应其频率和数据速率,从而提高有效性、扩大覆盖范围,并减少人为干预。本发明提出采用默认频率来进行频率自学习进程。考虑到电力线的信道特性,对于中低压接入网,默认频率一个优选的范围为

150kHz 至 12MHz,覆盖低、中、高频率。此外,默认频率的带宽随频率增加而增加。通过使用默认频率,一方面能够为大多数实际情况提供满意的工作频率,另一方面能够降低频率优化的复杂程度。所提出用于初始频率预选择的 PRMBL 时隙概念具有以下优点:

[0033] 1、如果未能成功检测到某一频率的前导序列,则该频率不适用于通信。因此,基于前导序列的评估,足以排除那些不合格的频率。本发明提出的 PLC 系统中,默认频率可能选自很宽的频率范围,如 150kHz 到 12MHz 之间;同时,电力线信道的特点随频率变化显著,因此,使用短前导信号能够快速筛除那些不适用的频率,不再进行下一步处理。这将显著提高频率搜索处理的速度。前导序列检测所需处理量很小,在降低功耗方面优势明显。

[0034] 2、具有固定前导序列位置的 PRMBL 时隙将提供有效的默认频率定时信息。如果一个 PLC 节点检测到某一频率的前导序列,则其将获得其余所有频率的前导序列的定时信息。使用一个 PRMBL 时隙便可以处理所有默认频率的前导序列,从而实现高效的频率搜索处理。

[0035] 3、在 PRMBL 时隙内以特定频率发送前导序列可以用于传递信令。举例来说,从站在向主站进行初始化注册时将用到这一特性。选定工作频率后,从站可以在上行链路 PRMBL 时隙中仅发送该频率的前导序列,然后在同一频率上发送控制包。一旦主站检测到了某一特定频率的前导序列,则将其视作从站发出的信令,并将进一步在该频率上检测后续控制包。

[0036] 4、主站在 PRMBL 时隙内以特定频率组发送前导序列可进一步用于控制收敛时间。主站首先发送一小部分默认频率的前导序列,以便网络快速收敛。如果仍存在这些频率未覆盖的 PLC 节点,主站能够依次向 PRMBL 时隙添加其他频率,从而在网络中覆盖余下的 PLC 节点。在大多数情况下,使用一部分频率足以覆盖一个 PLC 网络。仅有个别 PLC 节点可能出现较差的链路状况,从而需要额外的频率。

[0037] 5、在 PRMBL 时隙内以特定频率发送前导序列可进一步用于降低相邻 PLC 网络之间的潜在干扰。相邻 PLC 网络的主站可选择在 PRMBL 时隙内在相互正交的频率上发送前导序列,从而避免网络之间可能的干扰。

## 附图说明

[0038] 图 1 是本发明提供的自学习方法 PLC 系统的频率覆盖范围图;

[0039] 图 2 是本发明提供的一种从站用于在选择频率上进行初始注册的控制包结构示意图;

[0040] 图 3 是本发明提供的默认频率的前导(PRMBL)时隙结构示意图;其中每个前导序列在 PRMBL 时隙中位置固定;

[0041] 图 4 是本发明提供的基于前导序列的上下行初始频率选择过程示意图;

[0042] 图 5 是本发明提供的上下行链路使用同一频率时的频率搜索过程图;

[0043] 图 6 是本发明提供的跨频带电力线通信频率的自学习方法的流程图。

## 具体实施方式

[0044] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

[0045] 本发明提供一种具有根据信道条件自学习并自选择工作频率的自学习方法,由于

PLC 系统的工作频率(中心频点与带宽)可以在很宽的频谱范围内选择,因此 PLC 系统具备在各种不同的网络环境与信道条件下调整工作频率以保证正常工作的可能性。不失一般性,通常用于中低压接入网的频率范围为 150kHz 至 12MHz,其中覆盖了 150-500kHz 的低频频段、500kHz-1.6MHz 的中频频段以及 1.6MHz-12MHz 的高频频段(即跨频段)。

[0046] 对于在优选的频率范围内(如 150kHz-12MHz)的 PLC 接入网络,本发明采用了一种新型的数字前端(DFE)设计,其具有很高的动态范围、带外干扰抑制能力,并且支持在如 150kHz 至 12MHz 的宽频带范围内进行不同带宽(如从 7.8kHz 至 10MHz)的 OFDM 信号配置。本发明使用前导序列相关/同步方法在较多可能的工作频率中进行预选择,进一步缩小可使用的工作频率范围。本发明对前导序列和与其相关的同步方法具有较高要求。前导序列和同步方法可作为一个优选,其采用多种专门技术用于减少强脉冲噪声、窄带干扰以及多径传输的影响。

[0047] 本发明基于一组从宽频带范围内选择的具有不同带宽的默认频率,对最佳工作频率的自学习过程分为两个步骤。第一步的目的是快速的在宽频带范围内的较多指定频率中识别出一些可能的工作频率。这是基于对相应的前导序列的检测实现的。这种方法包括一个接收信号与前导序列的相关操作,以及一系列用于对抗电力线信道中的如脉冲噪声、窄带干扰以及多径传输等特殊现象所进行的信号处理操作。只有成功经过前导检测的频率才可以进行第二步。在第二步中,PLC 节点间在选中的频率上进行控制数据交换,并最终确定工作频率。

[0048] 为了快速有效的进行潜在工作频率预选择,本发明提出一种称为前导时隙或 PRMBL 时隙的概念。PRMBL 时隙包括全部默认频率的前导序列,并且每个前导序列在时隙中均位于指定的固定位置。主站有规律的发送 PRMBL 时隙,使得从站可以同步并检测不同频率的前导序列。由于时间位置固定,一旦从站检测到某一频率的前导序列,便可以得到所有其他前导序列出现的定时信息,从而可以非常高效的在需进行频率预选择的所有频率上进行操作。

[0049] 在主站与从站建立数据通信连接前,PRMBL 时隙也可以用于初始化信令。从站可以在上行链路的 PRMBL 时隙发送所选频率的前导序列,以通知主站在下一个时间间隔内在该频率上接收控制包。为了使其工作,上行 PRMBL 时隙应在主站已知的一个时间点上发送。当主站检测到从站发送的这一前导序列时,主站将接收机切换至相应频率,用于接收从站的控制包。从站通过这种方法在优选的频率上向主站发送首次注册请求。

[0050] 本发明提供的跨频带电力线通信频率的自学习方法的流程图如图 6 所示,包括下述步骤:

[0051] (1) 确定默认工作频率组;

[0052] 最佳工作频率从默认工作频率组中选择。默认工作频率也可以进行更新。对服务于智能电网的 PLC 接入网,默认工作频率组可以从以下三个频段中选择:150kHz 至 500kHz 的低频频段、500kHz 至 1.6MHz 的中频频段以及 1.6MHz 至 12MHz 的高频频段。表 1 给出了一组默认工作频率的例子,分别表示为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ ……,其工作带宽依次递减,即  $f_1$  具有最大的带宽, $f_2$  的带宽小于  $f_1$ ,以此类推。同时,低频频段选出的默认频率带宽小于高频频段中选出的默认频率带宽。作为例子,表 1 给出了各种默认频率下的前导序列时间长度,同样,表 1 也给出了包含前导序列与一个 OFDM 符号的控制包的时间长度。

[0053] 表 1: 默认频率组示例

[0054]

频率模式	开始频率 [MHz]	截至频率 [MHz]	带宽 [MHz]	频段	前导序列长度 [ms]	具有一个 OFDM 符号的控制包长度 [ms]
f1	1.6	11.6	10	高频频段 (1.6-12 MHz)	0.00768	0.12208
f2	1.6	6.6	5		0.01536	0.22432
f3	5.65	6.9	1.25		0.06144	0.8376
f4	4.3	5.55	1.25		0.06144	0.8376
f5	2.95	4.2	1.25		0.06144	0.8376
f6	1.6	2.85	1.25		0.06144	0.8376
f7	0.6	0.9125	0.3125	中频频段 (0.5-1.6 MHz)	0.24576	3.29024
f8	0.9625	1.275	0.3125		0.24576	3.29024
f9	0.32625	0.4825	0.15625	低频频段 (150-500 kHz)	0.49152	6.58048
f10	0.15	0.30625	0.15625		0.49152	6.58048

[0055] (2) 采用前导序列对默认工作频率组进行预选择, 将无法正确检测到前导序列的默认工作频率筛除, 正确检测到前导序列的默认工作频率作为潜在工作频率;

[0056] 本发明采用前导序列以及前导序列处理方法进行初始定时同步和频率预选择。

[0057] 本发明描述电力线网络上的两个 PLC 节点间的最佳频率搜索。首先, 两个 PLC 节点必需在一个或多个频率上相互建立时间同步, 因此, 一个节点需要在一个或多个频率上发送参考信号, 而另一个节点进行扫描检测这一参考信号。为了便于描述, 本发明将发送参考信号的节点称为主站, 将另一节点称为从站, 同时, 将主站到从站的链路称为下行链路, 将从站到主站的链路称为上行链路。

[0058] 主站与从站需要在默认工作频率组中搜索并选择最佳工作频率。由于默认工作频率组是在一个较宽的频率范围内选出的, 而电力线信道的信道特性又随频率而变化显著, 因此, 在通常情况下, 并不是默认频率组中的所有频率均可用于通信。例如, 对于采用地理电缆且距离超过 250 米的低压电力线网络, 4MHz 以上的频率极可能无法使用。因此, 为了优化频率搜索过程, 首选需要在默认频率组中识别潜在工作频率, 筛除无法使用的频率。

[0059] 主站与从站均已知默认工作频率组。我们定义一个包括所有默认频率的前导信号的时隙, 各个频率的前导序列前后相连且没有重叠, 这个时隙称为 PRMBL 时隙。原则上, 在 PRMBL 中, 不同频率的前导序列可以按任意顺序排列; 然而, 考虑到快速同步并收敛的需要, PRMBL 时隙可以从检测概率较大的频率的前导序列开始排列。不失一般性, 优选的, 较低频的较小带宽的前导序列排列于较高频的较大带宽的前导序列之前。图 3 给出了 PRMBL 时隙中前导序列排列的一个例子, 其中默认工作频率组使用了表 1 中的默认频率。本发明的一个重要规则是, 一旦 PRMBL 时隙中的某一前导序列的排列位置被定义, 无论其他频率的前导序列是否真正发送, 这一位置都不可改变。

[0060] 本发明在下行链路和上行链路可以采用不同的前导序列用于初始化信令, 但不同

的前导序列必须具有相同的长度和相同的自相关特性。

[0061] 潜在工作频率包括潜在下行工作频率和潜在上行工作频率。

[0062] ①确定潜在下行工作频率包括：

[0063] 主站在下行链路以固定的时间间隔发送 PRMBL 时隙，如图 4 所示。从站则开始在某一默认工作频率上扫描前导序列，当经过一定时间（由系统帧结构决定，如 100 毫秒左右）后，如无法在当前频率上检测到前导序列，则切换至下一个默认频率进行检测，以此类推。当所有默认工作频率被扫描之后，如果仍然无法检测到前导序列，如果没有收到其他操作的命令，从站继续循环开始扫描过程。

[0064] 如果从站成功的在某一频率上检测到前导序列，便与下行链路的 PRMBL 时隙取得同步，从而获得了全部默认频率出现的定时信息。根据这一定时信息，从站将继续评估之后 N 个连续的 PRMBL 时隙，用以确定潜在的下行工作频率。

[0065] ②由于电力线信道不一定是对称的信道，下行的最佳工作频率可能与上行的最佳工作频率不同。本发明也提出了主站选择上行链路潜在工作频率的方法。当从站检测到下行 PRMBL 时隙后，发送上行 PRMBL 时隙。在时间上，上行 PRMBL 时隙的位置与下行 PRMBL 时隙的位置相连。因此，主站已知可能的上行 PRMBL 时隙的出现时间。图 4 给出了上行 PRMBL 时隙接连下行 PRMBL 时隙发送的示意图。主站在已知的时间位置扫描上行 PRMBL 时隙。同样，主站也评估 N 个上行 PRMBL 时隙以确定上行的潜在工作频率。

[0066] (3) 在潜在工作频率上，主站与从站间传输控制包，确定最佳工作频率：针对上行链路和下行链路使用同一频率的情况，进一步提出主站与从站协商并最终确定工作频率的方案，具体包括：

[0067] 设 K 代表从站经过评估 N 个下行 PRMBL 时隙后得到的潜在工作频率数，K 个频率根据预先定义的标准进行排序。从站在排位最优的频率上发送控制包向主站进行注册请求，控制包由一个前导序列和承载控制数据的 OFDM 符号组成。控制包结构示意图如图 2 所示，主站一旦成功检测到控制包，则向从站发送确认包信号，用于确认从站请求的频率可以使用。为了告知主站在哪一频率上检测控制包，从站需要在上行 PRMBL 时隙在选择的频率上发送前导序列。当主站在已知的上行 PRMBL 时隙位置进行扫描并成功检测到从站所选择的频率上的前导序列时，主站将在上行 PRMBL 时隙之后，在该频率上扫描控制包。如果主站以满意的信号质量检测到控制包，则其在下一个时间间隔内向从站发送反馈确认包。从站方面，当在某一频率上发送了控制包后，将在该频率上扫描主站发送的确认包，若其成功接收到确认包，再向主站发送确认信息。至此，该链路的频率扫描过程完成。

[0068] 经过预先定义的时间间隔后，如果主站与从站在排序最优的频率上同步失败，从站将使用排序次优的频率向主站发送控制包，以此类推。

[0069] 本发明中，主站不必在 PRMBL 时隙上发送全部前导序列。根据需要，主站可以只发送部分默认工作频率，并且将其他不使用的频率位置留空。此时，从站将无法在这些不使用的频率位置上成功检测前导序列。事实上，从站也无需了解主站在哪些默认频率上发送前导序列，而只需将无法检测到前导序列的频率归结为信道条件较差即可。值得注意的是，无论主站实际发送了哪些前导序列，PRMBL 时隙的长度与所有相应的默认频率的前导序列位置应保持不变。

[0070] 主站能够选择发送所有默认频率一个子集的前导序列，可以简单有效的控制实际

使用的工作频率,从而优化网络的运行。例如,对于信道条件较好的小型网络,主站可首先发送宽带频率的前导序列,如 10MHz,使大多数节点可以与网络快速同步。如果并非所有从站均能够接入网络,则主站将依次向 PRMBL 时隙添加其他默认频率的前导序列,使那些从站能够在新频率中寻找主站。

[0071] 本发明采用 PRMBL 时隙概念降低相邻 PLC 网络之间的潜在干扰。将默认频率分为不同的子集,不同子集之间的频率没有交集。不同 PLC 网络的主站在相应的 PRMBL 时隙中使用不重叠的频率子集,从而避免干扰的产生。

[0072] 本发明是关于在宽频带 / 跨频带范围内(如适用于绝大部分中低压接入网的 150 千赫兹至 12 兆赫兹频率范围)最佳频率自学习的一种方法,主要应用于对无人干预系统的可靠性、有效性、即插即用等需求要求较高的控制和管理应用,如智能电网应用等。

[0073] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

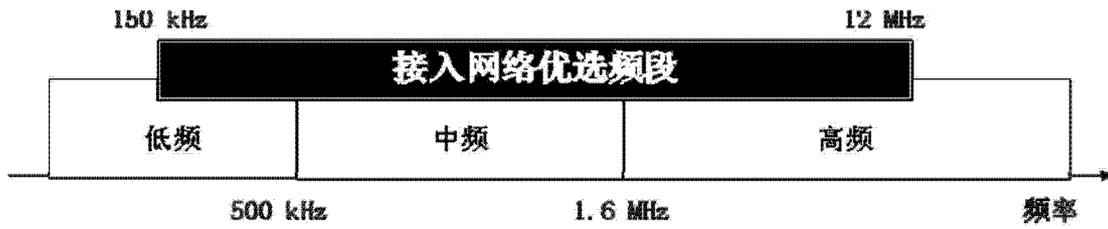


图 1

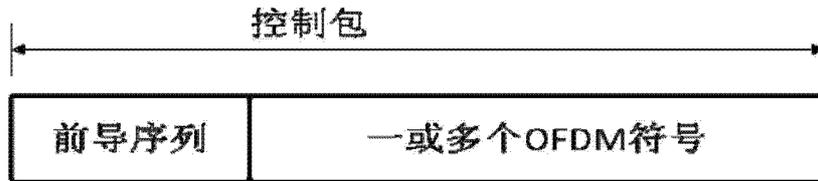


图 2

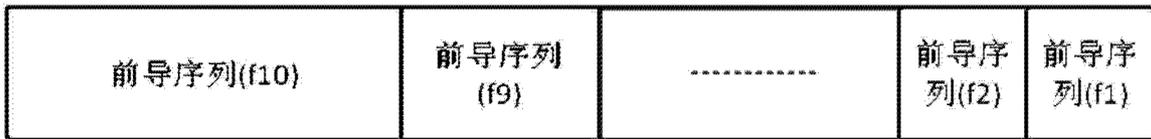
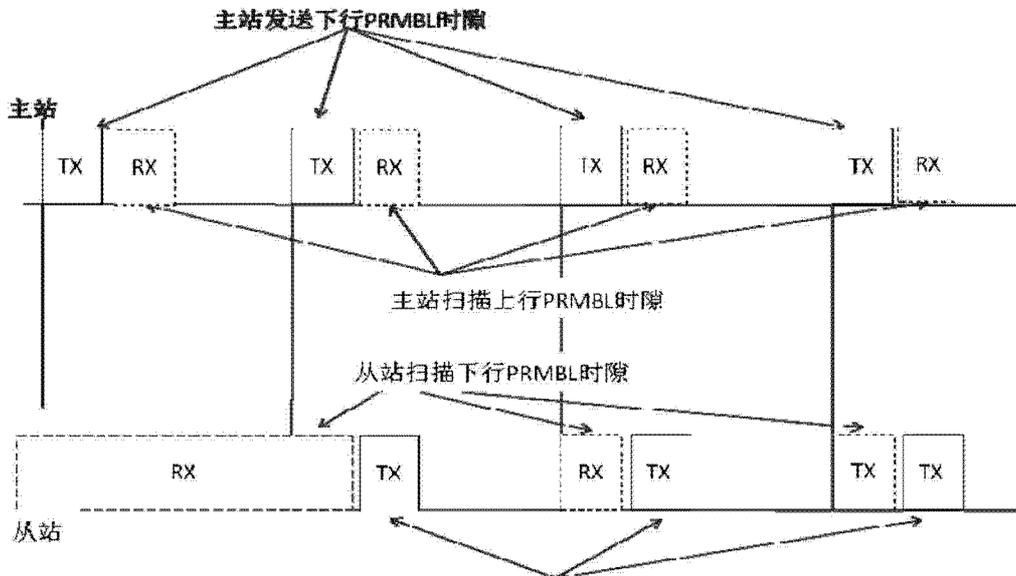


图 3



当从站通过下行PRMBL时隙取得同步后，从站开始在预定的时间位置发送上行PRMBL时隙，例如：在每个下行PRMBL时隙之后。

图 4

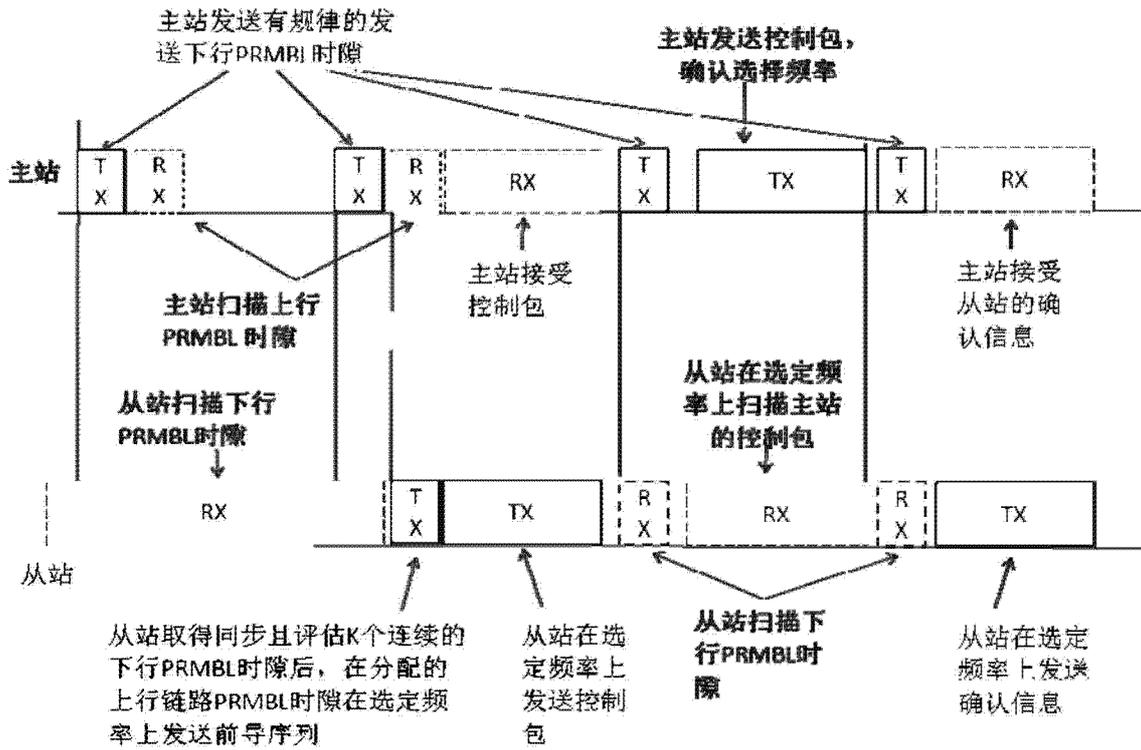


图 5

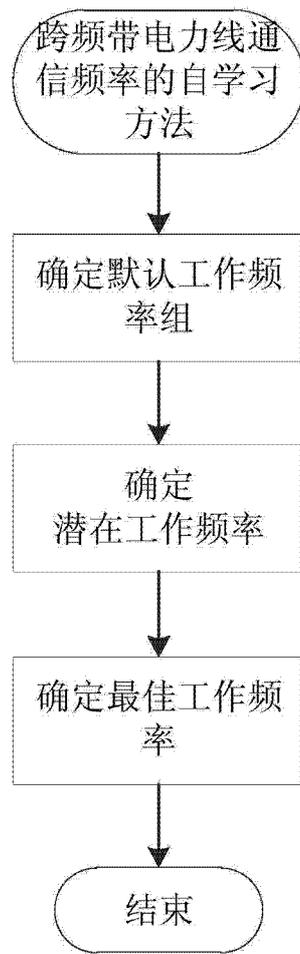


图 6