



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104094537 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 08

(21) 申请号 201380006390. 7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 01. 22

H04B 10/07(2006. 01)

H04B 10/60(2006. 01)

(30) 优先权数据

12152275. 9 2012. 01. 24 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 07. 23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/051121 2013. 01. 22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/110597 EN 2013. 08. 01

(71) 申请人 三菱电机研发中心欧洲有限公司

地址 荷兰阿姆斯特丹

申请人 三菱电机株式会社

(72) 发明人 G·弗罗克

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 吕俊刚 刘久亮

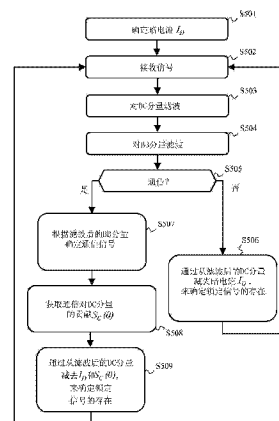
权利要求书3页 说明书18页 附图8页

(54) 发明名称

用于确定光接收器装置接收的信号中存在锁定信号的方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及一种用于确定通过光接收器装置接收的信号中存在锁定信号的方法,该光接收器装置旨在用于光通信网络中,该锁定信号是在光通信网络中的光通信装置之间建立通信之前的阶段通过所述光通信装置交换的信号。通过获取直流分量或所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量,并且通过获取该通信信号(如果存在)对所述分量的贡献来确定存在该锁定信号。



1. 一种用于确定通过光接收器装置接收的信号中存在锁定信号的方法,所述光接收器装置旨在用于光通信网络中,所述锁定信号是在所述光通信网络中的光通信装置之间建立通信之前的阶段通过所述光通信装置交换的信号,其特征在于,所述光接收器装置执行:

- 从接收到的信号获取直流分量或处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量;

- 确定所述接收到的信号中存在由所述光通信网络的光通信装置之间的通信导致的通信信号;

并且,当在所述接收到的信号中检测到所述通信信号的存在时:

- 确定所述通信信号对所述直流分量的贡献,或者相应地对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献;

- 通过从所述直流分量中,或者相应地从处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量中至少减去所确定的所述通信信号的贡献,来确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述光接收器装置适于经由光电二极管来接收信号,确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的步骤还包括以下步骤:当从所述直流分量中减去时,还减去由所述光电二极管导致的暗电流。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,确定所述通信信号对所述直流分量的贡献的步骤包括以下步骤:

- 当在假定不接收锁定信号的时段期间接收到所述接收到的信号时,获取所述接收到的信号的直流分量;

- 从所述所获取的直流分量中减去由所述光电二极管导致的所述暗电流。

4. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,确定所述通信信号对所述直流分量的贡献的步骤包括以下步骤:

- 获取对用于在光通信装置之间发送所述通信信号的在用调制方案的指示;

- 基于所获取的在用调制方案的指示,来获取频谱模式;

- 基于所获取的模式和所述接收到的信号的样本,外推所述通信信号对所述直流分量的贡献。

5. 根据权利要求 3 和 4 中的任一项所述的方法,其特征在于,所述光接收器装置还执行:

- 将所获取的所述通信信号对所述直流分量的贡献与在整个所述光通信网络发送了所述通信信号的光通信装置的标识符关联;

- 存储所关联的贡献和标识符,供以后确定接收到的信号中存在锁定信号。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,确定所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的步骤包括以下步骤:当在假定不接收锁定信号的时段期间接收到所述接收到的信号时,获取所述接收到的信号的处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,确定所述通信信号对所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的步骤包括以下步骤:

- 获取对用于在光通信装置之间发送所述通信信号的在用调制方案的指示;

- 基于所获取的所述在用调制方案的指示, 获取频谱模式;
- 至少基于所获取的模式和所述接收到的信号的样本, 外推所述通信信号对所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献。

8. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 外推所述通信信号对所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的步骤还基于所述通信信号对所述接收到的信号的直流分量的贡献来执行。

9. 根据权利要求 6 至 8 中的任一项所述的方法, 其特征在于, 所述光接收器装置还执行:

- 将所获取的所述通信信号对所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献与已经在整个所述光通信网络发送了通信信号的光通信装置的标识符关联;

- 存储所关联的贡献和标识符, 供以后确定接收到的信号中存在锁定信号。

10. 根据权利要求 5 至 9 中的任一项所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括以下步骤: 当在所述接收到的信号中检测到所述通信信号的存在时:

- 确定所述接收到的信号中音调的位置, 所述音调假定存在于每个通信信号中;

- 基于所确定的音调的位置确定拍频和相移, 所述拍频是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一载波频率与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二载波频率之差, 所述相移是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一相位与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二相位之差;

并且其特征在于, 还基于所确定的拍频和相移来执行确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号。

11. 根据权利要求 1 至 10 中的任一项所述的方法, 其特征在于, 为了生成所述锁定信号, 光发送器装置执行:

- 获取用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的载波频率;

- 获取调制后的信号, 所述信号按低于与在整个所述光通信网络发送的通信信号相对应的基带频率范围的下限的频率来调制;

- 对所述调制后的信号进行变迹;

- 基于所获取的载波频率来调制变迹后的信号。

12. 一种用于确定信号中存在锁定信号的装置, 该信号由所述装置接收, 所述装置旨在用于光通信网络中, 所述锁定信号是在在所述光通信网络中的光通信装置之间建立通信之前的阶段通过所述光通信装置交换的信号, 其特征在于, 所述装置实现:

- 用于从接收到的信号获取直流分量, 或处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的单元;

- 用于确定所述接收到的信号中存在由所述光通信网络的光通信装置之间的通信导致的通信信号的单元;

并且, 当在所述接收到的信号中检测到所述通信信号的存在时, 所述装置还实现:

- 用于确定所述通信信号对所述直流分量的贡献, 或者相应地对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的单元;

- 用于通过从所述直流分量中, 或者相应地从处于假定用于对该锁定信号进行调制的

频率的两倍频率的分量中减去所确定的所述通信信号的贡献,来确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的单元。

13. 根据权利要求 12 所述的装置,其特征在于,所述装置适于经由光电二极管来接收信号,所述用于确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的单元还适于,当从所述直流分量中减去时,还减去由所述光电二极管导致的暗电流。

14. 根据权利要求 12 所述的装置,其特征在于,当在所述接收到的信号中检测到存在所述通信信号时,该装置还实现:

- 用于确定所述接收到的信号中音调的位置的单元,所述音调假定存在于每个通信信号中;

- 用于基于所确定的音调的位置确定拍频和相移的单元,所述拍频是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一载波频率与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二载波频率之差,所述相移是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一相位与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二相位之差;

并且其特征在于,所述用于确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的单元还适于,当从所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量减去时,基于所确定的拍频和相移来执行所述确定。

15. 一种用于确定通过根据权利要求 12 至 14 中的任一项所述的光接收器装置接收的信号中存在锁定信号的系统,该系统包括所述光接收器装置和光发送器装置,其特征在于,为了生成所述锁定信号,所述光发送器装置实现:

- 用于获取用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的载波频率的单元;
- 用于获取调制后的信号的单元,所述信号按低于与在整个所述光通信网络发送的通信信号相对应的基带频率范围的下限的频率来调制;
- 用于对所述调制后的信号进行变迹的单元;
- 用于基于所获取的载波频率来调制变迹后的信号的单元。

用于确定光接收器装置接收的信号中存在锁定信号的方法和装置

[0001] 本发明总体上涉及光通信网络,并且更具体地说,涉及构造用于第一光通信装置与第二光通信装置通信的载波波长。

[0002] 光通信网络,并且更具体地说,无源光通信网络例如日益被用于向住宅或办公室网关赋予网络接入,或者确保移动回程。

[0003] 在增加由对网络的一个接入系统服务的用户数的尝试方面,已经开发出了波分或频分复用技术。这些技术采用了在单一光纤上利用不同载波波长或频率来复用几个光信号的优点。即使一些用户终端可以共享同一载波波长或频率,也可以典型地使用波长或频率分离器,以分开不同波长,或频率,以增加同时光发送的数量。波长或频率分离器典型地设置在用户终端与提供对该网络的其余部分的接入的终端之间。例如,该后一终端提供对城域网或核心网络的接入。可以使用不同技术来实现波长或频率分开。可以列举出基于薄膜的系统、干涉腔,如AWG(阵列波长光栅(Array Wavelength Gratings))和FBG(光纤布拉格光栅(Fiber Bragg Gratings))。

[0004] 因而,波长或频率分离器接着包括针对每个通信方向的几个光带通滤波器。其用于对由用户终端朝着准许出入城域网或核心网络的终端发出的光信号进行滤波和组合。在另一方向,其用于对由准许出入城域网或核心网络的终端发出的光信号进行滤波和以频谱方式分开。

[0005] 在这种排布结构中的难度是终端的发送接口的构造。实际上,这些发送接口应当被设置成,使得有效使用的载波波长或频率大致等于它们所连接至的相应光带通滤波器的标称波长或频率。因此,需要锁定所述载波波长或频率,以在通过这种光带通滤波器分开的第一光通信装置与第二光通信装置之间建立通信。

[0006] 为了执行该频率锁定,实现锁定协议。第一光通信装置与第二光通信装置当中的发起装置利用指定载波波长或频率向另一光通信装置发送锁定信号。这可能对已建立通信产生干扰。这种干扰在利用波长或频率分离器时呈现得更多,因其可能需要扫描不同的频率或波长以匹配该分离器的标称频率或波长。

[0007] 希望解决在光通信网络中出现的前述问题。具体来说,希望提供一种允许执行频率或波长锁定以在可能已经建立了通信的光通信网络中建立新的通信而不中断这种已建立的通信的解决方案。

[0008] 还希望提供允许当构造通信装置以建立新通信时减少对光通信网络中已建立通信产生的干扰的解决方案。

[0009] 进一步希望提供以下方案,即,其允许光接收器装置在该光接收器装置涉及光通信网络中已经建立的通信的同时,确定从另一光通信装置接收锁定信号,而不会中断这种已建立通信。而且,希望提供一种允许光接收器装置确定这种锁定信号被接收的解决方案。

[0010] 进一步希望提供允许增加用于执行锁定操作的光功率预算,同时限制对光通信网络的范围的影响的解决方案。

[0011] 而且,希望提供针对前述问题的有成本效益的解决方案。

[0012] 本发明还涉及一种用于确定通过光接收器装置接收的信号中存在锁定信号的方法,所述光接收器装置旨在用于光通信网络中,所述锁定信号是在所述光通信网络中的光通信装置之间建立通信之前的阶段通过所述光通信装置交换的信号。所述光接收器装置执行:从接收到的信号获取直流分量或处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量;确定所述接收到的信号中存在由所述光通信网络的光通信装置之间的通信得到的通信信号;并且,当在所述接收到的信号中检测到存在所述通信信号时:确定所述通信信号对所述直流分量的贡献,或者相应地对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献;通过从所述直流分量中,或者相应地从处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量中至少减去所确定的通信信号的贡献,来确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号。

[0013] 因而,通过标识所述通信信号对所述直流分量的贡献,或者对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献(如果存在),所述光接收器装置能够检测与所述通信信号同时接收的锁定信号的存在。获取直流分量仅需要低通滤波器,该解决方案有成本效益。对于处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量,用于检测所述锁定信号的光信噪比大于与所述直流分量有关的另选例,其允许减小为执行锁定信号检测所需的光的最小量并因而增加用于执行锁定操作的光功率预算,同时限制对光通信网络的范围的影响。

[0014] 根据特定特征,所述光接收器装置适于经由光电二极管来接收信号,确定接收到的信号中是否存在所述锁定信号的步骤还包括以下步骤:当从所述直流分量中减去时,还减去由所述光电二极管得到的暗电流。

[0015] 因而,考虑到了与光电二极管设计有关的不完美。

[0016] 根据特定特征,确定所述通信信号对所述直流分量的贡献的步骤包括以下步骤:当在假定不接收锁定信号的时段期间接收到所述接收到的信号时,获取所述接收到的信号的直流分量;从所获取的直流分量中减去由所述光电二极管得到的所述暗电流。

[0017] 因此,由于仅需要低通滤波器来获取所述通信信号对所述直流分量的贡献,因而该解决方案有成本效益。

[0018] 根据特定特征,确定所述通信信号对所述直流分量的贡献的步骤包括以下步骤:获取对用于在光通信装置之间发送所述通信信号的在用调制方案的指示;基于所获取的在用调制方案的指示,来获取频谱模式;基于所获取的模式和所述接收到的信号的样本,外推所述通信信号对所述直流分量的贡献。

[0019] 因而,可以获取所述通信信号对所述直流分量的贡献,而没有对可以发送所述通信信号和所述锁定信号的时段的约束。

[0020] 根据特定特征,所述光接收器装置还执行:将所获取的所述通信信号对所述直流分量的贡献与在整个所述光通信网络发送了通信信号的光通信装置的标识符关联;存储所关联的贡献和标识符,供以后确定接收到的信号中存在锁定信号。

[0021] 因而,限制了用于稍后对锁定信号检测的处理资源。

[0022] 根据特定特征,确定所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的步骤包括以下步骤:当在假定不接收锁定信号的时段期间接收到所述接收到的信号时,获取所述接收到的信号的处于假定用于对该锁定信号进行调制的

频率的两倍频率的分量。

[0023] 因而,可以简单地通过测量来获取所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献。

[0024] 根据特定特征,确定所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的步骤包括以下步骤:获取对用于在光通信装置之间发送所述通信信号的在用调制方案的指示;基于所获取的在用调制方案的指示,获取频谱模式;至少基于所获取的模式和所述接收到的信号的样本,外推所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献。

[0025] 因而,可以获取所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献,而没有对可以发送通信信号和锁定信号的时段的约束。

[0026] 根据特定特征,外推所述通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的步骤还基于所述通信信号对所述接收到的信号的直流分量的贡献来执行。

[0027] 因而,增加了外推的准确性。

[0028] 根据特定特征,所述光接收器装置还执行:将所获取的通信信号对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的获取贡献与已经在整个光通信网络发送了通信信号的光通信装置的标识符关联;存储所关联的贡献和标识符,供以后确定接收到的信号中存在锁定信号。

[0029] 因而,限制了用于稍后对锁定信号检测的处理资源。

[0030] 根据特定特征,所述方法还包括以下步骤,当在所述接收到的信号中检测到所述通信信号的存在时:确定所述接收到的信号中音调的位置,所述音调假定存在于每个通信信号中;基于所确定的音调的位置确定拍频和相移,所述拍频是用于在整个光通信网络发送所述通信信号的第一载波频率与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二载波频率之差,所述相移是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一相位与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二相位之差;并且在于,还基于所确定的拍频和相移来执行确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号。

[0031] 因此,由于所确定的拍频和相移,可以确定并补偿由同时接收所述锁定信号和所述通信信号而产生的干扰的贡献。

[0032] 根据另一方面,本发明涉及一种用于通过光发送器装置生成锁定信号的方法,所述锁定信号是在在光通信网络中的光通信装置之间建立之前通信的阶段,通过所述光通信装置交换的信号。所述光发送器装置执行:获取用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的载波频率;获取调制后的信号,所述信号按低于与在整个所述光通信网络发送的通信信号相对应的基带频率范围的下限的频率来调制;变迹所述调制后的信号进行变迹;基于所获取的载波频率调制变迹后的信号。

[0033] 因而,通过对所述信号进行变迹,假定基带频率范围中的瞬时锁定信号不产生干扰,并且在低于基带频率范围下限的频率调制该信号允许简化通过光接收器装置对所述锁定信号的检测。

[0034] 根据另一方面,本发明涉及一种用于确定由装置接收的信号中存在锁定信号的装置,所述装置旨在用于光通信网络中,所述锁定信号是在在所述光通信网络中的光通信装

置之间建立通信之前的阶段通过所述光通信装置交换的信号。所述装置实现：用于从接收到的所述信号获取直流分量，或处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的单元；用于确定所述接收到的信号中存在由所述光通信网络的光通信装置之间的通信得到的通信信号的单元；并且，当在所述接收到的信号中检测到所述通信信号的存在时，所述装置还实现：用于确定所述通信信号对所述直流分量的贡献，或者相应地对处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量的贡献的单元；用于通过从所述直流分量中，或者相应地从处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量中减去所述通信信号的所述确定贡献，来确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的单元。

[0035] 根据特定特征，所述装置适于经由光电二极管来接收信号，所述用于确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的单元还适于，当从所述直流分量中减去时，还减去由所述光电二极管得到的暗电流。

[0036] 根据特定特征，所述装置还实现，当在所述接收到的信号中检测到存在所述通信信号时：用于确定所述接收到的信号中音调的位置的单元，所述音调假定存在于每个通信信号中；用于基于所确定的音调的位置确定拍频和相移的单元，所述拍频是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一载波频率与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二载波频率之差，所述相移是用于在整个所述光通信网络发送所述通信信号的第一相位与用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的第二相位之差；并且在于，所述用于确定所述接收到的信号中是否存在所述锁定信号的单元还适于，当从所述处于假定用于对该锁定信号进行调制的频率的两倍频率的分量减去时，基于所确定的拍频和相移来执行所述确定。

[0037] 根据另一方面，本发明涉及一种用于生成锁定信号的装置，所述锁定信号是在在光通信网络中的光通信装置之间建立通信之前的阶段通过所述光通信装置交换的信号。所述装置实现：用于获取用于在整个所述光通信网络发送所述锁定信号的载波频率的单元；用于获取调制后的信号的单元，所述信号按低于与在整个所述光通信网络发送的通信信号相对应的基带频率范围的下限的频率来调制；用于对所述调制后的信号进行变迹的单元；用于基于所获取的载波频率来调制变迹后的信号的单元。

[0038] 本发明还涉及一种可以从通信网络下载和 / 或存储在可以通过计算机读取并且通过处理器运行的介质上的计算机程序。该计算机程序包括当所述程序通过处理器运行时，用于实现本发明不同实施方式中的任一个中的前述方法的指令。

[0039] 本发明还涉及存储包括一组指令的计算机程序的信息存储装置，当所存储信息通过计算机读取并且通过处理器运行时，该组指令可以通过处理器运行，以实现本发明不同实施方式中的任一个中的前述方法。

[0040] 该装置和计算机程序的优点与针对对应方法提到的优点相同，在此未对它们加以重复。

[0041] 根据阅读对实施方式的实施方式的下列描述，本发明的特征将更清楚显现，所述描述参照附图生成，其中：

[0042] 图 1 示意性地表示可以实现本发明的光通信网络的架构；

[0043] 图 2 示意性地表示光通信网络的通信装置的架构；

[0044] 图 3 示意性地表示通过第一光通信装置执行的、用于向光通信网络中的第二光通信装置发送锁定信号的算法；

[0045] 图 4 示意性地表示根据第一实施方式的、光通信网络的通信装置的接收器控制单元的架构；

[0046] 图 5 示意性地表示根据第一实施方式的、由光接收器装置执行的算法；

[0047] 图 6 示意性地表示根据第二实施方式的接收器控制单元的架构；

[0048] 图 7 示意性地表示根据第二实施方式的、由光接收器装置执行的算法；

[0049] 图 8 示意性地表示根据第三实施方式的接收器控制单元的架构；

[0050] 图 9 示意性地表示根据第三实施方式的、由光接收器装置执行的算法。

[0051] 图 1 示意性地表示可以实现本发明的无源光网络的架构。

[0052] 必须要注意的是，因为波长和频率通过直接反比关系连接在一起，所以这两个术语因它们指相同概念而被本领域技术人员不区分地使用。

[0053] 下面的描述在无源光通信网络的背景下加以详细说明，但可以类似地应用于光通信网络的更一般背景下。

[0054] 该无源光通信网络 100 包括：主装置 110、多个从装置 141、142、143，以及频谱分离器装置 120。该从装置 141、142、143 经由频谱分离器装置 120 与主装置 110 互连。功率分离器（如下所述）可以设置在从装置与频谱分离器装置 120 之间，以增加可以与主装置 110 互连的从装置的数量。无源光通信网络 100 的所有互连利用光纤来执行。

[0055] 在无源光通信网络 100 的背景下，该从装置 141、142、143 是 ONU（光网络单元）型。ONU 典型地位于终端用户家庭处。

[0056] 在无源光通信网络 100 的背景下，主装置 110 是 OLT（光线路终端）型。其使得 ONU 能够接入城域网或核心网络（未示出）。

[0057] 该从装置 141、142、143 经由功率分离器装置 132 可以连接至频谱分离器装置 120。该功率分离器装置 132 是无源分离器，其将输入信号沿下行链路方向分离成多个对应信号，其功率为除以朝着从装置 141、142、143 的链路的数量。功率分离器装置 132 输出的沿下行链路方向的每个链路上的信号包含和输入信号相同的信息，该功率分离器装置 132 仅对该信号的功率有影响。

[0058] 其它从装置经由功率分离器装置 131、133 可以连接至频谱分离器装置 120。每个功率分离器装置 131、132、133，和所连接的从装置与 OLT 形成了 PON 类型网络（无源光网络）。该 PON 对如由频谱分离器装置 120 滤波的相应波长频带操作。为实现这一点，频谱分离器装置 120 包括针对每个 PON 的一对光带通滤波器，其旨在对相应波长频带滤波，并因而使频谱分离器装置 120 能够滤波分复用。

[0059] 因此，如图 1 所示，频谱分离器装置 120 包括光带通滤波器 121 和 122，其专用于通过功率分离器装置 132 及其关联的从装置 141、142、143 的 PON 的发送。下面称作上行链路滤波器的第一滤波器 122 负责沿上行链路方向（即，从从装置 141、142、143 至主装置 110）的光信号的滤波。下面称作下行链路滤波器的第二滤波器 121 负责沿下行链路方向（即，从主装置 110 至从装置 141、142、143）的光信号的滤波。每个滤波器 121、122 都是根据标称波长（还称为中心波长）和带宽定义的带通滤波器。每个滤波器 121、122 还可以根据频谱形状来定义。

[0060] 对于所考虑上行链路或下行链路方向来说, 频谱分离器装置 120 的所有滤波器都优选地具有相同带宽值, 并且优选地按固定频谱距离隔开。然而, 该滤波器的标称波长先验未知。频谱分离器装置 120 优选为无源的, 该滤波器的标称波长可以随着频谱分离器装置 120 的温度改变。

[0061] 必须要注意的是, 该带通滤波器基于相同约束来设计, 该滤波器的带宽值和滤波器之间的频谱距离基本上不依赖于温度变化。

[0062] 另外, 与从装置 141、142、143 或者主装置 110 的光发送接口的指定构造相对应的有效载波波长可能是未知的。

[0063] 因此, 该从装置 141、142、143 需要被构造成在大致等于上行链路滤波器 122 的标称频率的载波波长沿上行链路方向发送光信号。另外, 主装置 110 需要被构造成在大致等于下行链路滤波器 121 的标称频率的载波波长沿下行链路方向发送光信号。换句话说, 需要锁定载波频率。

[0064] 可以注意到, 指定滤波器的通带中的波长视为大致等于指定滤波器的标称频率。

[0065] 可以注意到, 滤波器 121、122 的标称波长可以相同。其意指, 相同载波波长或者不同载波波长可以在下行链路方向和上行链路方向中使用。

[0066] 为了允许锁定第一光通信装置 (如从装置 141) 与第二光通信装置 (如主装置 110) 之间的载波频率, 第一光通信装置通过光通信网络 100 发送锁定信号。

[0067] 该锁定信号通过由第一光通信装置选择的载波频率或波长来发送。为了避免对光通信网络 100 中已经建立的通信 (例如, 主装置 110 与从装置 142 之间) 产生干扰, 提出了生成特定形状的锁定信号, 如下参照图 3 详细说明的。光通信网络 100 的任何接收器装置 (如第二光通信装置) 因而能够区分锁定信号与已建立通信的信号, 如下参照图 4 至图 9 详细说明的。而且, 接收器装置能够继续解码在所述已建立通信中交换的信号。

[0068] 图 2 示意性地表示主装置 110 的架构。

[0069] 根据所示架构, 主装置 110 包括通过通信总线 210 互连的下列组件: 处理器、微处理器、微控制器或 CPU (中央处理单元) 200; RAM (随机存取存储器) 201; ROM (只读存储器) 202; 适于读取存储在存储装置上的信息的装置 203; 旨在连接至频谱分离器装置 120 以发送和接收光信号的第一通信接口 204; 以及, 旨在连接至城域网或核心网络的第二通信接口 205。

[0070] CPU 200 能够执行从 ROM 202 或者从任何其它存储装置加载到 RAM 201 中的指令。在主装置 110 已经加电之后, CPU 200 能够从 RAM 201 读取指令并且执行这些指令。该指令形成一个计算机程序, 该计算机程序使 CPU 200 执行下面参照图 3、图 5、图 7 以及图 9 描述的算法的一些或全部步骤。

[0071] 可以注意到, 该从装置 141、142、143 还可以基于图 2 示意性地示出的架构来实现。在这种情况下, 第一通信接口 204 允许潜在地通过频谱分离器装置 120 与主装置 110 通信, 而第二通信接口 205 允许将所考虑从装置 141、142、143 连接至诸如家庭网络的局域网。

[0072] 下面参照图 3、图 5、图 7 以及图 9 描述的算法的一些或全部步骤可以通过由诸如 DSP (数字信号处理器) 或微控制器的可编程计算机执行一组指令或程序而按软件来实现; 或者就通过诸如 FPGA (现场可编程门阵列) 或 ASIC (专用集成电路) 的机器或专用组件而按硬件来实现。

[0073] 图 3 示意性地表示通过第一光通信装置执行的用于向第二光通信装置发送锁定信号的算法。该第一光通信装置还被称为光发送器装置。

[0074] 图 3 的算法旨在当第一光通信装置尝试与第二光通信装置建立通信时执行。如已经提到的,这种通信需要预先适当锁定该通信信号的频率。

[0075] 在特定实施方式中,图 3 的算法旨在当第一光通信装置不接收到作为响应的来自第二光通信装置的消息或信号时以新载波或波长频率重复进行。

[0076] 在步骤 S301 中,第一光通信装置获取要在锁定阶段从第一光通信装置向第二光通信装置发送的信息,以允许在第一光通信装置与第二光通信装置之间建立通信。

[0077] 在随后步骤 S302 中,第一光通信装置获取表示要被用于要在第一光通信装置与第二光通信装置之间建立的通信的载波频率的信息。

[0078] 在随后步骤 S303 中,第一光通信装置根据在步骤 S301 中获取的信息来获取调制后的信号。在特定实施方式中,该调制通过圆函数来执行,该圆函数的频率 Ω 低于光通信网络 100 中的光通信装置之间的有效通信的波特率。换句话说,该频率 Ω 低于基带的下限,该基带对应于对通信信号进行解码而必要的频率范围。在优选实施方式中,该频率 Ω 显著低于基带的下限。例如,该频率 Ω 等于 50MHz 而基带的下限为 1.80THz。

[0079] 在随后步骤 S304 中,第一光通信装置对调制后的信号进行变迹。换句话说,第一光通信装置去除或弄平调制后的信号中的尖锐断续。为实现这一点,第一光通信装置例如使用布莱克曼 (Blackman) 窗口滤波。可以代替地应用其它窗口滤波处理,或变迹处理,如汉恩 (Hann) 窗口滤波。在变型例中,圆函数是正弦函数,并且第一光通信装置在 0 开始正弦函数,而在 $k\pi$ 结束正弦函数,其中, k 是正整数。第一光通信装置因而确保变迹后的经调制的锁定信号在信号开头和结尾平滑地趋于 0,以使该信号中不生成瞬时高频。

[0080] 变迹之后的锁定信号下面被指示 $S_{lock}(t)$,其中, t 表示时间。该锁定信号 $S_{lock}(t)$ 对应于变迹之后的信号 $S''_{lock}(t)$,其中,信号 $S''_{lock}(t)$ 可以表达如下:

[0081]

$$S''_{lock}(t) = a_0 + a_1 \times \cos(\Omega t + \varphi)$$

[0082] 其中, a_0 和 a_1 是恒定值,并且, $a_0 \geq 0$ 和 $a_1 \neq 0$ 。在这种情况下, a_0 表示在步骤 S301 中获取的信息。 a_0 和 a_1 的逻辑乘积可以表示这种信息。

[0083] 该锁定信号 $S_{lock}(t)$ 例如表示包括:必须建立通信的指示、第一光通信装置的标识符以及第二光通信装置的标识符的消息。该锁定信号 $S_{lock}(t)$ 还可以仅表示必须建立通信的指示,第一光通信装置与第二光通信装置的标识符是预定义的或是利用另一通信信道交换的。

[0084] 在随后步骤 S305 中,第一光通信装置通过光通信网络 100 向第二光通信装置发送该锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。该信号利用根据在步骤 S302 中获取的信息所表示的载波频率来发送。所发送的信号可以被除了该信号所寻址于的第二光通信装置以外的其它光通信装置接收。

[0085] 为向第二光通信装置发送该信号,第一光通信装置利用正弦函数调制该锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。所得信号接着可以被表达如下:

[0086]

$$S_{lock}(t) \times \cos(\omega_{lock} t + \varphi_{lock})$$

[0087] 其中：

[0088] - ω_{lock} 表示在步骤 S302 中获取的载波频率；

[0089] - φ_{lock} 表示在步骤 S305 中执行的调制中应用的正弦函数的相位；而

[0090] - φ 表示在步骤 S303 中执行的调制中应用的圆函数的相位。

[0091] 为了比较，在锁定了载波频率时，通过光通信装置调制的、用于与另一光通信装置通信的通信信号 $S_{com}(t)$ 可以表达如下：

[0092]

$$S_{com}(t) \times \cos(\omega_{com}t + \varphi_{com})$$

[0093] 其中：

[0094] - ω_{com} 表示被用于在光通信装置之间的通信期间发送通信信号 $S_{com}(t)$ 的载波频率；而

[0095] - φ_{com} 表示被应用于执行通信的正弦函数的相位。

[0096] 作为示例，频率 Ω 被设置成 50MHz，并且载波波长或频率 ω_{lock} 和 ω_{com} 处于 1.80THz 至 2.30THz 之内，其对应于红外频率域。

[0097] 发送的信号可以被第二光通信装置接收，而第二光通信装置已经与另一光通信装置通信。其还可以被另一光通信装置接收，该另一光通信装置可以与又一光通信装置通信，或者与第一光通信装置或第二光通信装置通信。

[0098] 每个光通信装置都包括光电二极管，光电二极管例如是红外频率域 APD（雪崩光电二极管）或 PIN（正本征负）二极管。该光电二极管是二次检波器，其接收其它通信装置发送并且通过光通信网络 100 传播的信号。该光电二极管将光信号转换成电信号。该光电二极管可以包括将电流转换成电压的 TIA（互阻抗放大器）。下面，光电二极管提供的电信号的表达在这种情况下应当按电压域来变换，并且可以以放大因子来修改。

[0099] 光电二极管提供的电信号可以表达如下，当光通信装置接收到与和另一光通信装置建立的通信相对应的通信信号 $S_{com}(t)$ 时并且在没有接收到锁定信号时：

$$[0100] \quad I_D + \frac{1}{2} S_{com}^2(t)$$

[0101] 其中， I_D 表示暗电流，其是在不存在光信号时，光电二极管提供的电流。

[0102] 这涉及至少与暗电流有关的 BB（基带）分量和 DC（直流电流）分量。BB 分量位于基带中，其例如被限定为从 1GHz 至 10GHz 的范围。该基带对应于由通信信号 $S_{com}(t)$ 得到的分量所位于的频谱范围，其对于执行对通信信号 $S_{com}(t)$ 的解码来说是重要的。

[0103] 该通信信号 $S_{com}(t)$ 还可以依赖于用于生成基带信号的在用调制来生成 DC 分量的部分。该在用调制可以本征地生成 DC 分量。通过用于生成基带信号的在用调制生成的 DC 分量还可以随着时间演进；其可以在指定时间帧上而存在并且在另一时间帧上不存在。这典型地依赖于在上面考虑信号的样本的数量。

[0104] 在下面的算式中，与在生成锁定信号 $S_{lock}(t)$ 时执行的变迹有关的操作是显而易见的。实际上，其简化了该算式和对本发明的一般理解，如变迹仅旨在确保不存在仅与锁定信号变换转变有关的额外频率。

[0105] 通过光电二极管提供的电信号可以表达如下，当光通信装置接收在步骤 S305 中通过第一光通信装置发送的锁定信号 $S_{lock}(t)$ 时，并且在没有接收到通信信号时：

$$[0106] \quad I_D + \frac{1}{2} S_{lock}^2(t)$$

[0107] 通过光电二极管提供的电信号可以表达如下,当光通信装置接收到与另一光通信装置建立的通信相对应的通信信号 $S_{com}(t)$, 以及与在步骤 S305 中通过第一光通信装置发送的锁定信号相对应的锁定信号 $S_{lock}(t)$ 时:

$$[0108] \quad I_D + \frac{1}{2} S_{com}^2(t) + \alpha + C$$

[0109] 其中:

[0110]

$$\alpha = \frac{1}{2} S_{lock}^2(t)$$

$$C = S_{com}(t) \times S_{lock}(t) \times \cos((\delta\omega)t + \delta\varphi)$$

[0111] 并且其中: $\delta\omega = \omega_{com} - \omega_{lock}$ 并且和 $\delta\varphi = \varphi_{com} - \varphi_{lock}$

[0112] 并且其中, α 还可以表达如下: $\alpha = A+B+Z$

[0113] 光电二极管提供的电信号的部分 A 对应于 DC 分量的部分 (如果存在), 光电二极管提供的电信号的部分 B 对应于处于频率 Ω 两倍的分量的至少部分, 而光电二极管提供的电信号的部分 C 对应于处于频率 Ω 的分量的至少部分。

[0114] 频率 $\delta\omega$ 下称为拍频, 而相位 $\delta\varphi$ 下称为相移。

[0115] 例如考虑到 $S_{lock}(t) = a_0 + a_1 \times \cos(\Omega t + \varphi)$, α 可以被分解成下列贡献:

[0116]

$$A = \frac{1}{2} a_0^2 + \frac{1}{4} a_1^2$$

$$B = \frac{1}{4} a_1^2 \times \cos(2\Omega t + 2\varphi)$$

$$Z = \frac{1}{2} a_1 a_0 \times \cos(\Omega t + \varphi)$$

[0117] 例如, 如果信号 $S_{lock}(t)$ 至少在指定时间帧上恒定, 则光电二极管提供的电信号的部分 A 可以生成 DC 分量的部分。在这种情况下, 当通过光通信装置接收到锁定信号时, 与单一存在的暗电流 I_D 相比, 检测到 DC 分量的增加。

[0118] 光电二极管提供的电信号的部分 B 生成处于频率 Ω 两倍的分量的至少部分。

[0119] 通过光电二极管提供的电信号的部分 C 生成与拍频 $\delta\omega$ 有关的相应分量, 例如当 $S_{lock}(t) = a_0 + a_1 \times \cos(\Omega t + \varphi)$ 时以频率 $\Omega \pm \delta\omega$ 。根据拍频 $\delta\omega$ 的值, 这可以得到 DC 分量和 / 或处于频率 Ω 两倍的分量和 / 或与 BB 分量交叠的分量。

[0120] 下面, 呈现了用于允许在光接收器装置处区分锁定信号与通信信号三个实施方式。参照图 4 和图 5 对第一实施方式进行呈现, 其中, 分析 DC 分量, 考虑到减轻由光电二极管提供的电信号的部分 C。参照图 6 和图 7 对第二实施方式进行呈现, 其中, 分析处于频率 Ω 两倍的分量, 考虑到减轻由光电二极管提供的电信号的部分 C。参照图 8 和图 9 对第三实施方式进行呈现, 其中, 分析处于频率 Ω 两倍的分量, 考虑到补偿由光电二极管提供的电信号的部分 C。每个实施方式在接收到信号的光通信装置对锁定信号进行符号检测方面, 都导致针对指定错误概率的不同链路预算, 其允许在不同限制下部署光通信网络 100。实

实际上,链路预算越高,光通信网络 100 的支持范围就越长。因而,可以找到光通信装置的复杂性与光通信网络的范围之间的折中方案,因为为了针对指定链路预算来增加光通信网络 100 的范围,可以增加光接收器装置处信号检测的复杂性,例如通过在为了检测锁定信号在较长时间段上积分接收到的信号。

[0121] 图 4 示意性地表示根据第一实施方式的光通信网络 100 的光通信装置的接收器控制单元的架构。该光通信装置下称为光接收器装置。

[0122] 该第一实施方式旨在解决在光接收器装置已经通信的同时,通过该光接收器装置检测锁定信号的问题。

[0123] 该接收器控制单元包括光电二极管 401,其将光信号转换成电信号,并将该电信号提供给第一滤波器 402 和第二滤波器 404。

[0124] 第一滤波器 402 是旨在相对于另一分量对光电二极管 401 提供的电信号中的 DC 分量滤波的低通滤波器。第二滤波器 402 接着将该 DC 分量提供给 DC 分析单元 403。

[0125] 第二滤波器 404 是旨在对光电二极管 401 提供的电信号中的 BB 分量滤波的带通滤波器。在变型例中,第二滤波器 404 可以是低通滤波器。第二滤波器 404 接着将滤波后的 BB 分量提供给 BB 分析单元 405。

[0126] 如已经提到的,光电二极管 401 生成暗电流 I_D 。该暗电流 I_D 对应于 DC 分量,并因而被第一滤波器 401 滤波,并提供给 DC 分析单元 403。DC 分析单元 403 能够在不存在从任何其它光通信装置接收的通信信号,也不存在从任何其它光通信装置接收的锁定信号时,确定暗电流 I_D 的强度。为实现这一点,光接收器装置可以在初始化阶段阻止任何光信号接收,直到确定了暗电流 I_D 为止。在变型例中,该暗电流 I_D 被设置成预定值。实际上,因为暗电流 I_D 是光电二极管 401 的本征特性,所以这种预定值例如在制造过程期间由光接收器装置存储。

[0127] 光电二极管 401 提供的电信号的部分 A 因此被第一滤波器 402 滤波,并且提供给 DC 分析单元 403。

[0128] 如已经提到的,光电二极管 401 提供的电信号的部分 C 生成与拍频 $\delta \omega$ 有关的相应分量。这可以得到 DC 分量,其接着加强了对锁定信号的存在性的检测。实际上,与拍频 $\delta \omega$ 有关的分量仅在锁定信号和通信信号交叠时存在。处于频率 $\pm \delta \omega$ 并且可能在 $\pm (\Omega \pm \delta \omega)$ 的分量也可以与 BB 分量交叠。

[0129] 为了使得由光电二极管 401 提供的电信号的部分 C 的贡献在 BB 分量的频谱中可忽略,下列表达式应被最大化:

$$[0130] \quad \frac{S_{com}^2(t)}{C}$$

[0131] 考虑到最坏的情况,其中, $\cos(.) = 1$,其得到考虑针对以下的最小值:

$$[0132] \quad \frac{S_{com}^2(t)}{S_{lock}(t) \times S_{com}(t)}$$

[0133] 其可以通过以下近似:

$$[0134] \quad \frac{S_c^2}{S_c \times S_l} = \frac{S_c}{S_l}$$

[0135] 其中, S_1 表示锁定信号 $S_{1\text{lock}}(t)$ 的最大振幅, 而 S_c 表示通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的最大振幅。 S_c 还可以表示通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的平均振幅, 如仅上面算式中的近似量级。

[0136] 例如, 利用具有 $M \leq 16$ 的多进制 (M-ary) 振幅调制 (与不同振幅相对应的 M 个可能状态) 来发送通信信号, 大于 18dB 的比率 S_c/S_1 允许不扰乱对接收到的通信信号的调制状态的判定过程。实际上, 在振幅调制中, 等距离功率电平表示调制状态, 并且在两个连续功率电平之间等距地限定判定阈值。利用锁定信号 $S_{1\text{lock}}(t)$ 的最大振幅与通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的最大振幅之间的这种比率, 限制了与光电二极管提供的电信号的部分 C 相对应的分量 (当这种分量位于基带中时) 对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的影响。因此, 考虑到比率 S_c/S_1 大于 18dB, 其得到大约 36dB 的 OSNR (光信噪比) S_c^2/S_1^2 , 其在光通信中常用的光电二极管的 35-40dB 的灵敏度匹配。

[0137] 在光接收器装置同时接收多个锁定信号的情况下, 针对 DC 分量的贡献随着同时的锁定信号的数量线性增加。其产生冲突, 使得锁定信号无法被解码, 但仍提供对已经接收到这种锁定信号的指示。另外, 比率 $S_c^2/S_c \times \Pi_j S_{1j}$ 仍与在光特性中常用的光电二极管的灵敏度匹配, 其中, S_{1j} 表示第 j 个锁定信号的最大振幅。

[0138] DC 分析单元 403 通过分析接收到的信号中的 DC 分量来确定锁定信号 $S_{1\text{lock}}(t)$ 。锁定信号 $S_{1\text{lock}}(t)$ 对 DC 分量的贡献是在光电二极管 401 提供的电信号中观察到的 DC 分量, 从其减去了暗电流 I_D 和对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的 DC 分量 (如果存在) 的贡献。

[0139] 在不接收到锁定信号 $S_{\text{com}}(t)$ 时通过测量来确定通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献。这例如在光通信网络 100 处于仅允许以预定时间隙发送锁定信号, 而以任何时间允许通信的方式时来实现。DC 分析单元 403 可以经由链路 413 向频谱分析单元 407 提供通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献的这种测量结果。

[0140] 在变型例中, DC 分析单元 403 可以经由链路 414 从频谱分析单元 407 接收通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献。

[0141] 频谱分析单元 407 经由链路 410 从 BB 分析单元 405 接收对用于生成基带信号的在用调制方案的指示, 以及从第二滤波器 404 接收的信号的样本。获知了在用调制方案, 频谱分析单元 407 能够确定应当与信号 $S_{\text{com}}(t)$ 匹配的频谱模式。获知了该模式并使用该样本, 频谱分析单元 407 执行外推, 以确定通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献。

[0142] 频谱分析单元 407 可以存储所外推的通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献。所存储的贡献可以稍后重新用于另一 DC 分析; 因而避免反复进行对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的频谱分析。然而, 频谱分析单元 407 可以反复进行对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的频谱分析, 以细化通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献。

[0143] 在优选实施方式中, 频谱分析单元 407 将通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献与已经发送通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的光通信装置的标识符相关联地存储。存储该关联贡献, 供以后确定接收到的信号中锁定信号的存在。所存储的通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对 DC 分量的贡献是通过频谱分析外推或是经由链路 413 从 DC 分析单元 403 接收的。已经发送通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的光通信装置的标识符是经由链路 410 从 BB 分析单元 405 接收的。BB 分析单元 405 通过对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 解码来获取该标识符, 考虑到通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 包括规定这种标识符的消息。可以注意到的是, 由于如前所述以适当定义的比率 S_c/S_1 减轻了由光电二极管 401 提供的电信号的部分 C 的贡献, 因而, 尽管存在锁定信号 $S_{1\text{lock}}(t)$, BB 分析单元 405 仍然能够对通信

信号 $S_{com}(t)$ 解码。

[0144] 该锁定信号检测在指定时段上执行。DC 分析单元 403、BB 分析单元 405 以及频谱分析单元 407 优选地与这个指定时段同步。这允许这些单元彼此提供一致信息，并且允许频谱分析单元 407 在该指定时段上将通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献加权。实际上，在该指定时段上，通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献可以演进。由于第一滤波器 402 在该指定时段上充当积分器，因而，频谱分析单元 407 将通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献加权，以经由链路 414 向 DC 分析单元 403 提供与 DC 分析单元 403 执行的 DC 分量的测量结果一致的信息。

[0145] DC 分析单元 403 经由链路 412 向负责处理光通信网络 100 的光通信装置之间的锁定协议的锁定信号处理单元 406 提供锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。BB 分析单元 405 经由链路 411 向光接收器装置的负责处理在光通信网络 100 的光通信装置之间交换的数据的另一级（图 4 中未示出）提供通信信号 $S_{com}(t)$ 。

[0146] 考虑到用于通信信号 $S_{com}(t)$ 的典型发射光功率为大约 0dBm，36dB 的减轻光通信噪声锁定比将导致大约 -36dBm 的发射光锁定功率。因为对于 PIN 红外光电二极管来说，红外光电二极管的灵敏度例如大约为 -53dBm，误差概率等于 10^{-9} ，所以允许大约 17dBm 的光功率预算，以允许执行频率或波长锁定以在可能已经建立了通信的光通信网络中建立新的通信，而不会中断这种已建立的通信。该光功率预算是通过考虑在单一符号时段的积分来获取的。当使用较低的光功率预算时，需要较长时段的积分。考虑到 APD 红外光电二极管，该灵敏度大约为 60 甚或 70dB，而非 53dBm，其导致增加的光功率预算。分别为大约 24 或 34dBm。然而，应注意到，APD 红外光电二极管比 PIN 红外光电二极管贵。

[0147] 考虑到 36dB 的减轻光通信噪声锁定比，并且考虑到数字地执行对 DC 分量的分析，相关模数转换器必须以六比特以上来运行，以区分由通信信号得到的潜在 DC 分量与由锁定信号得到的 DC 分量。该方面通过下面参照图 6 和图 7 呈现的第二实施方式来改进。

[0148] 图 5 示意性地表示根据第一实施方式的由光接收器装置执行的算法。该光接收器装置包括用于经由光通信网络 100 发送光信号的光电二极管。

[0149] 在步骤 S501 中，光接收器装置确定暗电流 I_D 。在步骤 S501 中，光接收器装置不接收信号。如上所述，通过测量由光电二极管提供的电信号的 DC 分量或者通过利用预定值来确定该暗电流 I_D 。

[0150] 在随后步骤 S502 中，光信号开始被光接收器装置，其接着被光电二极管转换成电信号。

[0151] 在随后步骤 S503 中，光接收器装置对该电信号的 DC 分量滤波。换句话说，光接收器装置获取该电信号的 DC 分量。

[0152] 在随后步骤 S504 中，光接收器装置对该电信号的 BB 分量滤波。换句话说，光接收器装置获取该电信号的 BB 分量（如果存在）。

[0153] 在随后步骤 S505 中，光接收器装置通过分析滤波后的 BB 分量，来检查接收到的信号是否包括通信信号 $S_{com}(t)$ 。如果接收到的信号中存在通信信号 $S_{com}(t)$ ，则执行步骤 S507；否则，执行步骤 S506。

[0154] 在步骤 S506 中，光接收器装置通过将将在步骤 S503 中获取的 DC 分量与在步骤 S501 中确定的暗电流 I_D 相减，来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 的存在性。接着，在通过光接收器装置接

收到光信号时,重复步骤 S502。

[0155] 在步骤 S507,光接收器装置根据在步骤 S504 中滤波的 BB 分量来确定通信信号 $S_{com}(t)$ 。

[0156] 在步骤 S508 中,光接收器装置确定通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献(如果存在)。在不通过光通信网络 100 发送锁定信号的时段期间,如前所述通过频谱分析或者通过 DC 分量分析来确定该贡献。

[0157] 在随后步骤 S509 中,光接收器装置通过将步骤 S503 中获取的 DC 分量与在步骤 S501 中确定的暗电流 ID 和在步骤 S508 中获取的通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献相减,来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 的存在性。在由光电二极管提供的电信号的部分 C 贡献于 DC 分量的情况下,应当明白,与拍频有关的分量仅在存在锁定信号和通信信号时存在。接着,当光接收器装置接收到光信号时,重复步骤 S502。

[0158] 图 6 示意性地表示根据第二实施方式的光通信网络 100 的光通信装置的接收器控制单元的架构。该光通信装置下称为光接收器装置。

[0159] 该第二实施方式是第一实施方式的另选例,以解决在光接收器装置已经通信的同时,通过该光接收器装置检测锁定信号的问题。

[0160] 该第二实施方式例示了其中由锁定信号 $S_{lock}(t)$ 得到的 DC 分量为零的情况,或者其中由锁定信号 $S_{lock}(t)$ 得到的 DC 分量与噪声混合的情况。

[0161] 该接收器控制单元包括前述光电二极管 401,其将光信号转换成电信号,并将该电信号提供给前述第二滤波器 404 和第三滤波器 501。如在第一实施方式中,第二滤波器 404 连接至 BB 分析单元 405。

[0162] 第三滤波器 501 是对处于频率 Ω 两倍的频率滤波的带通滤波器。例如,第三滤波器具有等于 100MHz 的标称频率和 25MHz 的通带。第三滤波器 501 向带外分析单元 502 提供处于频率 Ω 两倍的分量。

[0163] 因此,通过光电二极管 401 提供的电信号的部分 B 被第三滤波器 501 滤波,并且提供给带外分析单元 502。

[0164] 如已经提到,通过光电二极管 401 提供的电信号的部分 C 生成与拍频 $\delta \omega$ 有关的相应分量。这可以生成处于频率 Ω 两倍的分量和 / 或与 BB 分量交叠的分量。

[0165] 该通信信号 $S_{com}(t)$ 还可以根据用于生成基带信号的在用调制,来生成处于频率 Ω 两倍的分量的部分。

[0166] 带外分析单元 502 通过分析所接收到的信号中的处于频率 Ω 两倍的分量,来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。锁定信号 $S_{lock}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献是在观察到的通过光电二极管 401 提供的电信号中处于频率 Ω 两倍的分量,从该电信号中减去了通信信号 $S_{com}(t)$ 的贡献(如果存在),和与拍频 $\delta \omega$ 有关的信号的贡献(如果存在)。

[0167] 因此,带外分析单元 502 可以通过检查处于频率 Ω 两倍的分量是否仅对应于通信信号 $S_{com}(t)$ 的贡献(如果存在),来确定是否存在锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。实际上,如果与拍频 $\delta \omega$ 有关的信号贡献于处于频率 Ω 两倍的分量,则意味着存在锁定信号。

[0168] 通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献在未接收锁定信号 $S_{com}(t)$ 时通过测量来确定。这例如在光通信网络 100 处于仅允许以预定时隙发送锁定信号,而以任何时间允许通信的方式时来实现。带外分析单元 502 可以经由链路 513 向频谱分析单元 504

提供通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献的这种测量。

[0169] 在变型例中,带外分析单元 502 经由链路 514 从频谱分析单元 504 接收通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献。

[0170] 频谱分析单元 504 经由链路 510 从 BB 分析单元 405 接收对用于生成基带信号的在用调制方案的指示,和从第二滤波器 404 接收的信号的样本。获知了在用调制方案,频谱分析单元 504 能够确定应当匹配信号 $S_{com}(t)$ 的频谱模式。获知了该模式并使用该样本,频谱分析单元 504 执行外推,以确定通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献。通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献还可以用于细化外推。在这种情况下,接收器控制单元包括第一滤波器 402 和 DC 分析单元 403,其向频谱分析单元 504 提供所测量的通信信号 $S_{com}(t)$ 对 DC 分量的贡献,如前参照图 4 所述。

[0171] 频谱分析单元 504 可以将外推得到的通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献与已经发送通信信号 $S_{com}(t)$ 的光通信装置的标识符相关联地存储。存储该关联的贡献,供以后确定接收到的信号中存在锁定信号。其因而避免反复进行对通信信号 $S_{com}(t)$ 的频谱分析。然而,频谱分析单元 504 可以反复进行对通信信号 $S_{com}(t)$ 的频谱分析,以细化通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献。

[0172] 在优选实施方式中,频谱分析单元 504 将通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献与已经发送通信信号 $S_{com}(t)$ 的光通信装置的标识符相关联地存储。所存储的通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献通过频谱分析外推或者经由链路 513 从带外分析单元 502 接收。已经发送通信信号 $S_{com}(t)$ 的光通信装置的标识符经由链路 510 从 BB 分析单元 405 接收。BB 分析单元 405 通过解码通信信号 $S_{com}(t)$ 来获取该标识符,考虑到通信信号 $S_{com}(t)$ 包括规定这种标识符的消息。可以注意到,由于减轻通过光电二极管 401 提供的电信号的部分 C 的贡献,因而,尽管存在锁定信号 $S_{lock}(t)$,BB 分析单元 405 仍然能够对通信信号 $S_{com}(t)$ 解码。

[0173] 在最大值,通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献估算如下:

$$[0174] \quad \frac{1}{2} S'_c \times \frac{\Delta B_f}{B_b}$$

[0175] 其中, S'_c 是通信信号 $S_{com}(t)$ 的测量谱功率,例如,谱功率密度的平均值,并且其中, ΔB_f 表示第三通带滤波器 501 的宽度,而 B_b 表示 0 与第二通带滤波器 404 的上截止频率之间的宽度。

[0176] 在最大值,与拍频 $\delta \omega$ 有关的信号对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献近似如下:

$$[0177] \quad \sqrt{S'_c} \times \sqrt{S'_l} \times \frac{\Delta B_f}{B_b}$$

[0178] 与用于通信信号 S'_c 的类似地, S'_l 表示锁定信号 $S_{lock}(t)$ 的测量谱功率。

[0179] 可以根据上面的表达式看出,项 $\Delta B_f/B_b$ 带来衰减因子,其增加了用于检测锁定信号的 OSNR。实际上,与基带的上限值相比,第三通带滤波器 501 的宽度较低。

[0180] 如前参照第一实施方式所述,利用振幅调制来发送锁定信号和通信信号,大于 18dB 的比率 S_c/S_l 允许不扰乱有关所接收通信信号的调制状态的判定过程。利用锁定信号 $S_{lock}(t)$ 的最大振幅与通信信号 $S_{com}(t)$ 的最大振幅之间的这种比率,当这种分量位于基带中时,限制了与通过光电二极管提供的电信号的部分 C 相对应的分量对通信信号 $S_{com}(t)$ 的

影响。考虑到前述减轻 36dB 的光通信噪声锁定比, 尽管分析复杂性较高, 但用于检测锁定信号的带外分析的能力比在考虑第一实施方式时所获取的能力好。例如, 如果带外分析以数字方式执行, 则相关模数转换器必须以一比特或者最差两个比特来进行, 以区分根据通信信号得到的潜在 DC 分量与根据锁定信号得到的 DC 分量。

[0181] 带外分析单元 502 经由链路 512 向负责处理光通信网络 100 的光通信装置之间的锁定协议的锁定信号处理单元 503 提供锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。BB 分析单元 405 经由链路 511 向光接收器装置的负责处理在光通信网络 100 的光通信装置之间交换的数据的另一级 (图 6 上未示出) 提供通信信号 $S_{com}(t)$ 。

[0182] 图 7 示意性地表示根据第二实施方式的由光接收器装置执行的算法。该光接收器装置包括用于经由光通信网络 100 发送光信号的光电二极管。

[0183] 在步骤 S701 中, 光信号开始被光接收器装置接收, 其接着被光电二极管转换成电信号。

[0184] 在随后步骤 S702 中, 光接收器装置以频率 Ω 的两倍对电信号的分量滤波。换句话说, 光接收器装置获取电信号的处于频率 Ω 两倍的分量。

[0185] 在随后步骤 S703 中, 光接收器装置对该电信号的 BB 分量滤波。换句话说, 光接收器装置获取该电信号的 BB 分量 (如果存在)。

[0186] 在随后步骤 S704 中, 光接收器装置通过分析滤波的 BB 分量, 来检查所接收到的信号是否包括通信信号 $S_{com}(t)$ 。如果通信信号 $S_{com}(t)$ 存在于所接收到的信号中, 则执行步骤 S706; 否则, 执行步骤 S705。

[0187] 在步骤 S705 中, 光接收器装置根据在步骤 S702 中滤波的处于频率 Ω 两倍的分量, 来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。接着, 在光接收器装置接收到光信号时, 重复步骤 S701。

[0188] 在步骤 S706 中, 光接收器装置根据在步骤 S504 中滤波的 BB 分量来确定通信信号 $S_{com}(t)$ 。

[0189] 在随后步骤 S707 中, 光接收器装置确定通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献 (如果存在)。在不通过光通信网络 100 发送锁定信号的时段期间, 该贡献如前所述通过频谱分析或者通过对处于频率的两倍的分量的分析来确定。

[0190] 在随后步骤 S708 中, 光接收器装置通过从在步骤 S702 中滤波的处于频率 Ω 两倍的分量减去在步骤 S707 中获取的通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献, 来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 的存在性。在由光电二极管提供的电信号的部分 C 贡献于处于频率 Ω 两倍的分量的情况下, 应当明白, 与拍频有关的分量仅在存在锁定信号和通信信号时存在。接着, 在光接收器装置接收到光信号时, 重复步骤 S701。

[0191] 图 8 示意性地表示根据第三实施方式的光通信网络 100 的光通信装置的接收器控制单元的架构。该光通信装置下称为光接收器装置。

[0192] 该第三实施方式是第二实施方式的改进例, 以解决在光接收器装置已经通信的同时, 通过该光接收器装置检测锁定信号的问题。第三实施方式还允许确定锁定信号。

[0193] 该第三实施方式例示了其中由锁定信号 $S_{lock}(t)$ 得到的 DC 分量为零的情况, 或者其中由锁定信号 $S_{lock}(t)$ 得到的 DC 分量与噪声混合的情况。

[0194] 该接收器控制单元包括前述光电二极管 401, 其将光信号转换成电信号, 并将该电信号提供给前述第二滤波器 404 和前述第三滤波器 501。如在第二实施方式中, 第二滤波器

404 连接至 BB 分析单元 405, 而第三滤波器 501 连接至带外分析单元 502。

[0195] 如已经提到的, 通过光电二极管 401 提供的电信号的部分 C 生成与拍频 $\delta \omega$ 有关的相应分量。这可以生成处于频率 Ω 两倍的分量和 / 或与 BB 分量交叠的分量。

[0196] 带外分析单元 502 通过分析所接收到的信号中的处于频率 Ω 两倍的分量, 来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。锁定信号 $S_{lock}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献是在观察到的光电二极管 401 提供的电信号中处于频率 Ω 两倍的分量, 从该电信号中减去了通信信号 $S_{com}(t)$ 的贡献 (如果存在), 和与拍频 $\delta \omega$ 有关的信号的贡献 (如果存在)。

[0197] 如前参照图 6 所述, 通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献在不存在所接收锁定信号 $S_{com}(t)$ 时通过测量来确定。带外分析单元 502 可以经由链路 513 向频谱分析单元 504 提供通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献的这种测量结果。在变型例中, 带外分析单元 502 经由链路 514 从频谱分析单元 504 接收通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献。在优选实施方式中, 频谱分析单元 504 将通信信号 $S_{com}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献与已经发送通信信号 $S_{com}(t)$ 的光通信装置的标识符相关联地存储。

[0198] 与拍频 $\delta \omega$ 有关的信号的贡献可以通过获知值 $\delta \omega$ 和 / 或 $\Omega \pm \delta \omega$ 和 $\varphi \pm \delta \varphi$ 来确定。为实现这一点, 该接收器控制单元包括音调分析单元 601。该音调分析单元 601 经由链路 610 从 BB 分析单元 405 接收从第二滤波器 404 接收的信号的样本。该音调分析单元 601 尝试检索存在于通信信号 $S_{com}(t)$ 中的至少一个音调, 即, 已经由发送了通信信号 $S_{com}(t)$ 的光通信装置在该通信信号 $S_{com}(t)$ 中插入。拍频 $\delta \omega$ 和相移 $\delta \varphi$ 的效果在于, 这些音调经过在频谱内的移位。这些音调希望存在的频率与这些音调实际地存在的频率的比较允许确定拍频 $\delta \omega$ 。为了确定所接收到的信号中的音调在频谱中的位置, 音调分析单元 601 例如应用 FFT (快速傅立叶变换)。为了更新对接收到的信号中的音调在频谱中的位置的确定, 音调分析单元 601 例如周期性地再次应用 FFT。在变型例中, 音调分析单元 601 在预定时间窗期间应用滑动 FFT, 其允许缩减计算时间段。频谱中音调的存在性可以通过计算 FFT 分量的模、与 FFT 分量中的奇异元素相对应的音调来确定。通过标识该音调以哪些频率存在于所接收到的信号中, 可以减小拍频 $\delta \omega$ 。通过计算形成这些奇异元素的 FFT 分量的虚部与实部的反正切 (\arctan), 可以确定相移 $\delta \varphi$ 。所接收到的信号中的用于执行 FFT 的样本的数量可以被调节成, 寻找计算时间段与拍频 $\delta \omega$ 和相移 $\delta \varphi$ 的估计准确性之间的折中方案。作为另一实施方式, 在模拟域中, 可以通过利用可调滤波器检测所接收到的信号中的谐振来确定所接收到的信号中的音调在频谱中的位置。

[0199] 因而, 音调分析单元 601 能够利用下列算式来确定通信信号 $S_{com}(t)$:

[0200]

$$S_{com}(t) = \frac{-S_{lock}(t)(\cos(\delta\omega t + \delta\varphi))}{\sqrt{2 S_{rx}(t) + (S_{lock}(t) \cos(\delta\omega t + \delta\varphi))^2}}$$

[0201] 其中, $S_{rx}(t)$ 表示在第二滤波器 404 执行滤波之后的接收信号。

[0202] 另外, 音调分析单元 601 经由链路 612 向带外分析单元 502 提供拍频 $\delta \omega$ 和相移 $\delta \varphi$ 。因此, 带外分析单元 502 能够根据观察到的处于频率 Ω 两倍的分量并且根据拍频 $\delta \omega$ 和相移 $\delta \varphi$ 来确定锁定信号 $S_{lock}(t)$ 。

[0203] 接着,带外分析单元 502 能够通过另外获取锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 对 DC 分量的贡献而完全确定锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 。在这种情况下,该接收器控制单元包括 DC 分析单元 403, 其向带外分析单元 502 提供锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 对 DC 分量的贡献。

[0204] 在变型例中,执行迭代过程直到收敛为止,或者直到到达预定次数迭代为止。在这种迭代过程中,带外分析单元 502 基于通过音调分析单元 601 经由链路 612 提供的拍频 $\delta\omega$ 和相移 $\delta\phi$, 经由链路 613 提供对锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 的第一估计。音调分析单元 601 基于对锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 的估计来确定对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的估计,并且经由链路 612 向带外分析单元 502 提供对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的该估计。接着,带外分析单元 502 经由链路 613 向音调分析单元 601 提供基于对通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 的估计的、对锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 的另一估计等,直到收敛为止。

[0205] 带外分析单元 502 经由链路 512 向负责处理光通信网络 100 的光通信装置之间的锁定协议的锁定信号处理单元 503 提供锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 。音调分析单元 601 经由链路 611 向光接收器装置的负责处理在光通信网络 100 的光通信装置之间交换的数据的另一级(图 8 上未示出)提供通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 。

[0206] 根据该第三实施方式,因为无论光通信噪声锁定比是什么, BB 中的潜在拍频项都可以被检索并加以补偿,所以在锁定信号的发送功率方面不存在限制,因而,即使在存在同时通信信号时,在用于执行锁定操作的光功率预算方面也不存在限制。

[0207] 而且,关于检测锁定信号的能力,因为其基于在频率 Ω 两倍的相同滤波,所以其在第二实施方式中获取的能力一样高。

[0208] 图 9 示意性地表示根据第三实施方式的由光接收器装置执行的算法。该光接收器装置包括用于经由光通信网络 100 发送光信号的光电二极管。

[0209] 在步骤 S901 中,光信号开始被光接收器装置接收,其接着被光电二极管转换成电信号。

[0210] 在随后步骤 S902 中,光接收器装置以频率 Ω 的两倍对电信号的分量滤波。换句话说,光接收器装置处于频率 Ω 两倍获取电信号的分量。

[0211] 在随后步骤 S903 中,光接收器装置对该电信号的 BB 分量滤波。换句话说,光接收器装置获取该电信号的 BB 分量(如果存在)。

[0212] 在随后步骤 S904 中,光接收器装置通过分析滤波的 BB 分量,来检查所接收到的信号是否包括通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 。如果通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 存在于所接收到的信号中,则执行步骤 S906;否则,执行步骤 S905。

[0213] 在步骤 S905 中,光接收器装置根据在步骤 S902 中滤波的处于频率 Ω 两倍的分量,来确定锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 。接着,在通过光接收器装置接收到光信号时,重复步骤 S901。

[0214] 在步骤 S906 中,光接收器装置根据在步骤 S504 中滤波的 BB 分量来确定拍频 $\delta\omega$ 和相移 $\delta\phi$ 。如前参照图 8 所述,该拍频 $\delta\omega$ 和相移 $\delta\phi$ 通过检索所接收到的信号中的音调来确定。

[0215] 在步骤 S907 中,光接收器装置确定通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的的分量的贡献(如果存在)。在没有通过光通信网络 100 发送锁定信号的时段期间,该贡献如前所述通过频谱分析或者通过对处于频率的两倍的的分量的分析来确定。

[0216] 在随后步骤 S908 中,光接收器装置通过从在步骤 S902 中滤波的处于频率 Ω 两倍

的分量减去在步骤 S907 中获取的通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献和与涉及拍频 $\delta\omega$ 的信号有关的贡献, 来确定锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$, 如前参照图 8 所述。换句话说, 光接收器装置基于通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 对处于频率 Ω 两倍的分量的贡献并且基于拍频 $\delta\omega$ 和相移 $\delta\varphi$ 来确定锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 。在变型例中, 光接收器装置仅确定锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 的存在性。

[0217] 在随后步骤 S909 中, 光接收器装置基于锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 并且基于拍频 $\delta\omega$ 和相移 $\delta\varphi$ 来确定通信信号 $S_{\text{com}}(t)$, 如前参照图 8 所述。该通信信号 $S_{\text{com}}(t)$ 和锁定信号 $S_{\text{lock}}(t)$ 可以利用迭代过程来细化, 如前参照图 8 所述。接着, 在通过光接收器装置接收到光信号时, 重复步骤 S901。

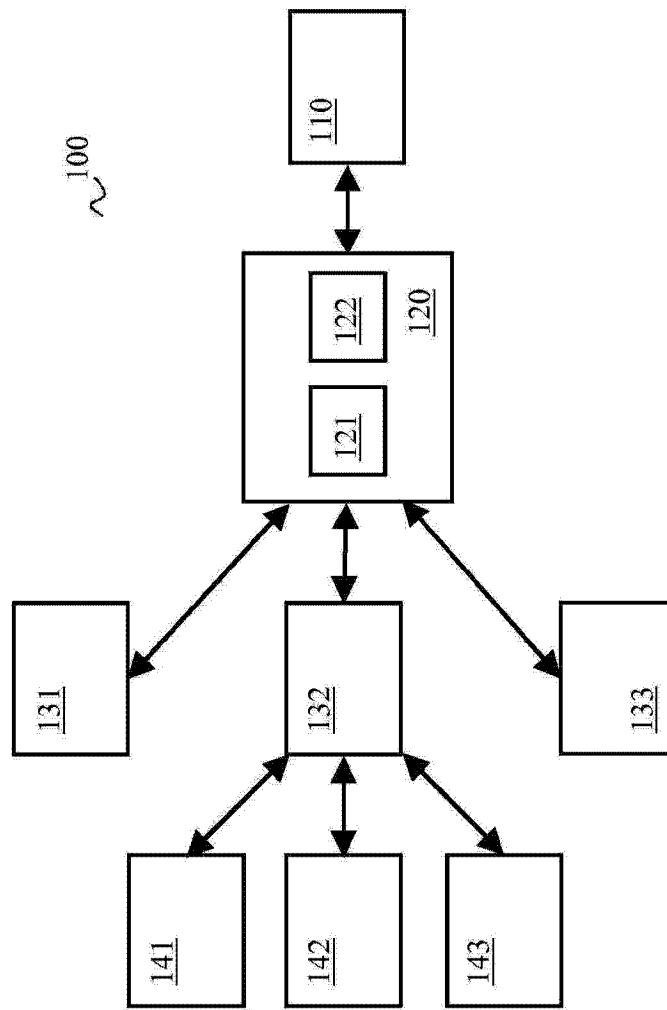


图 1

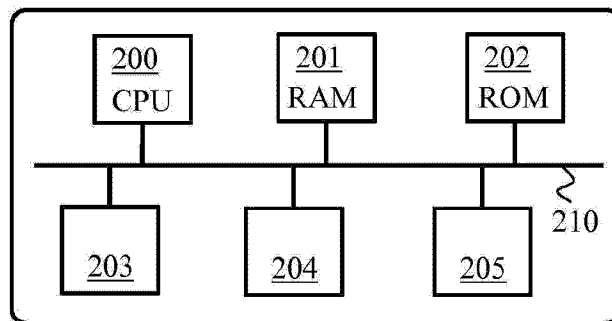


图 2

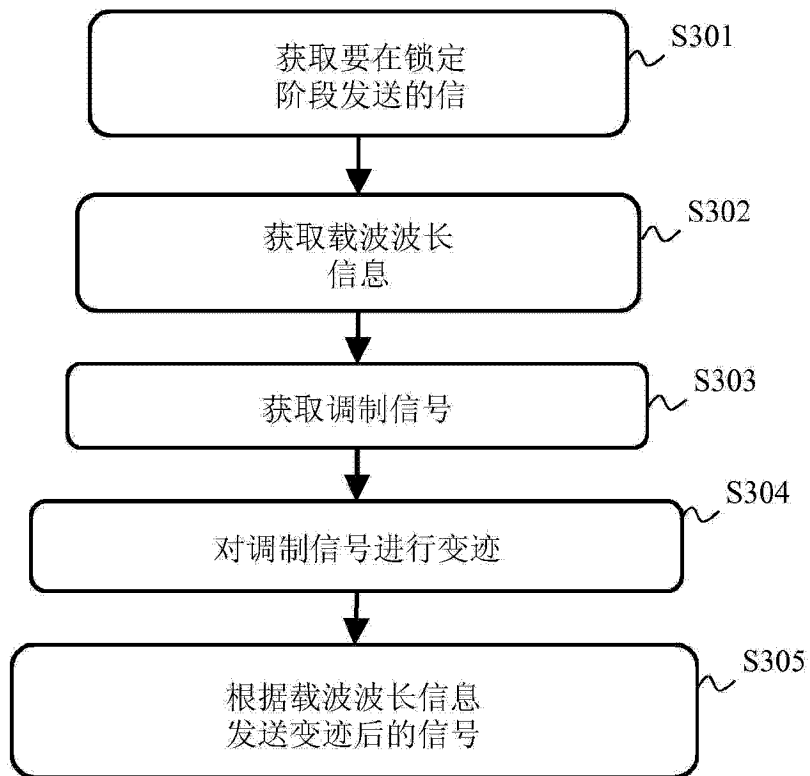


图 3

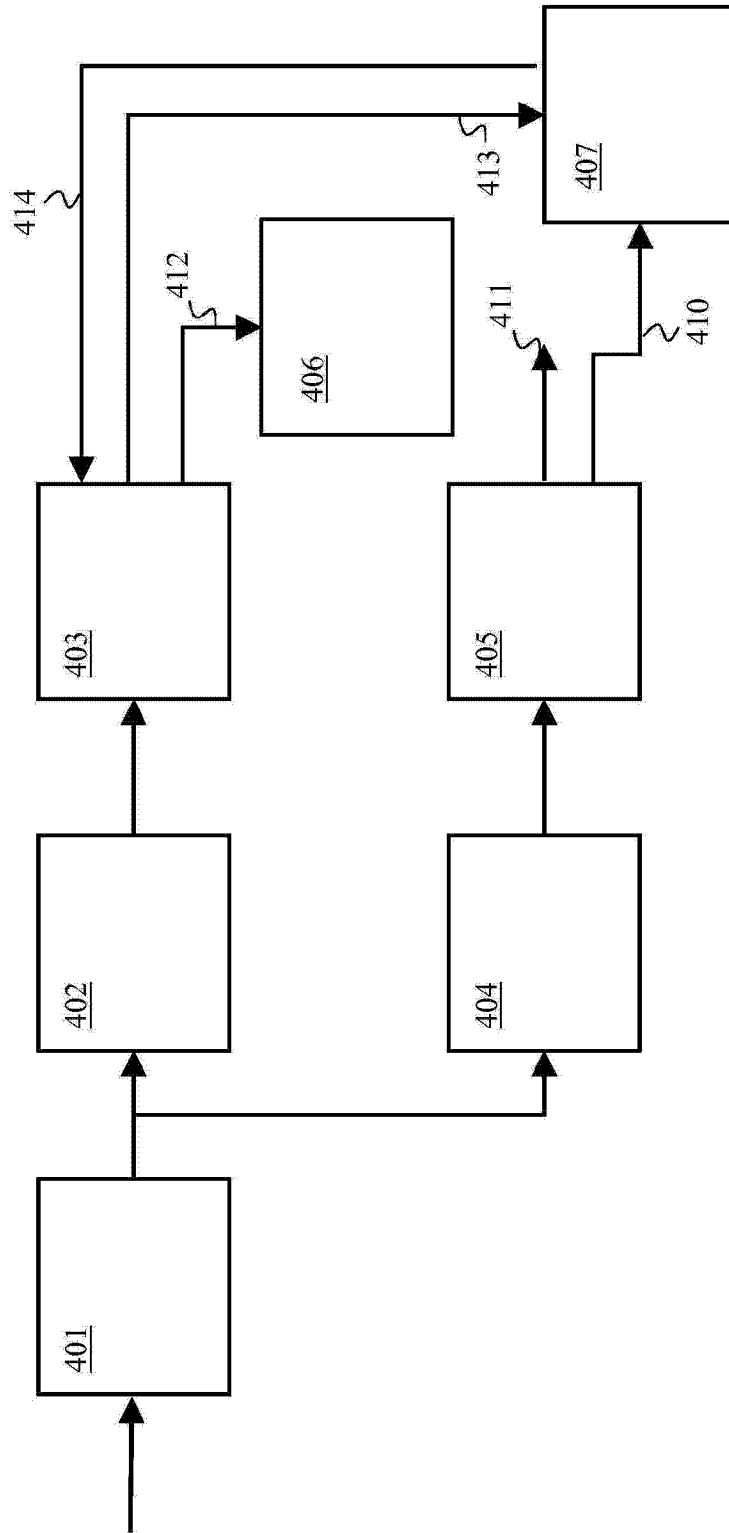


图 4

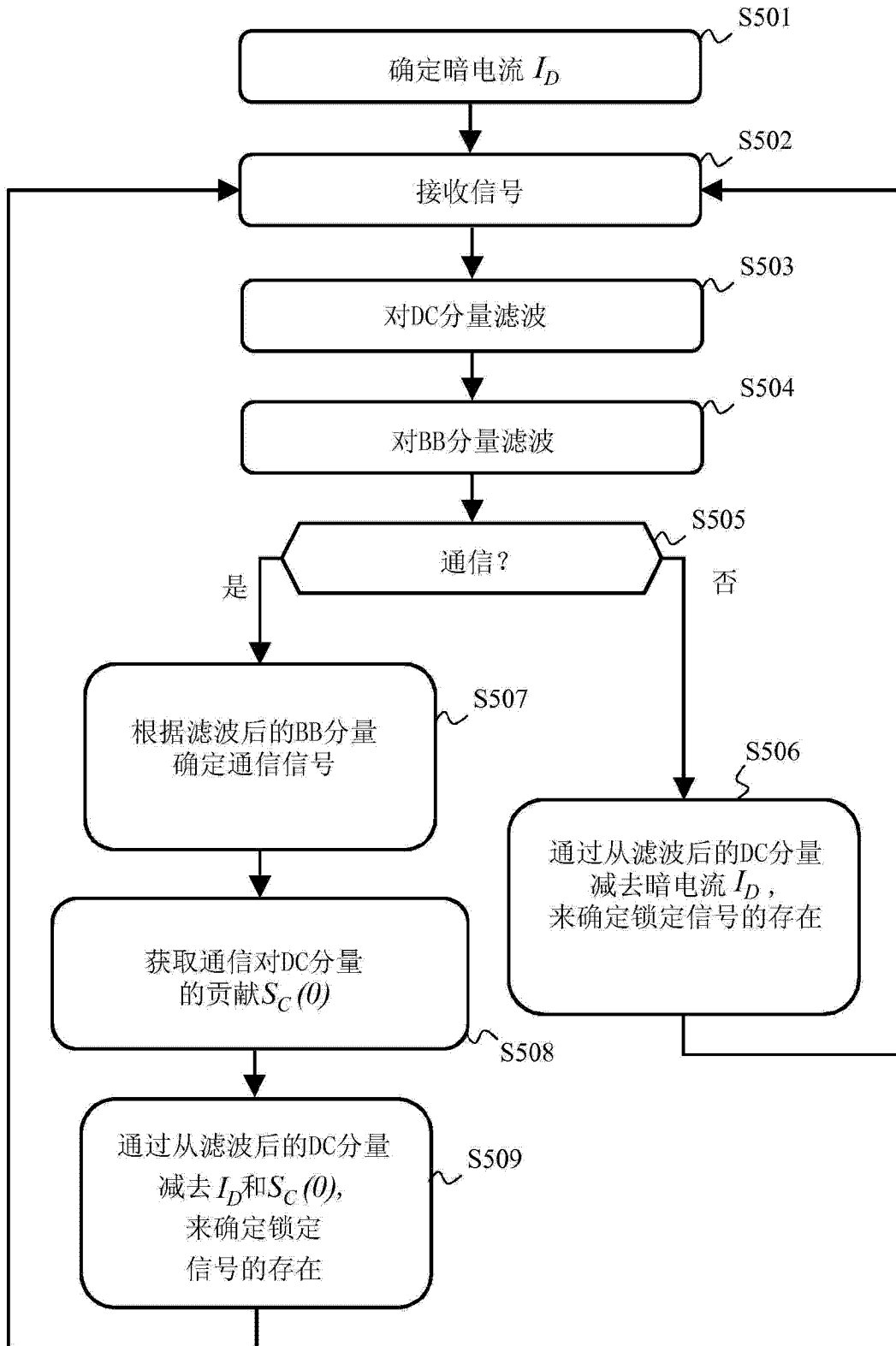


图 5

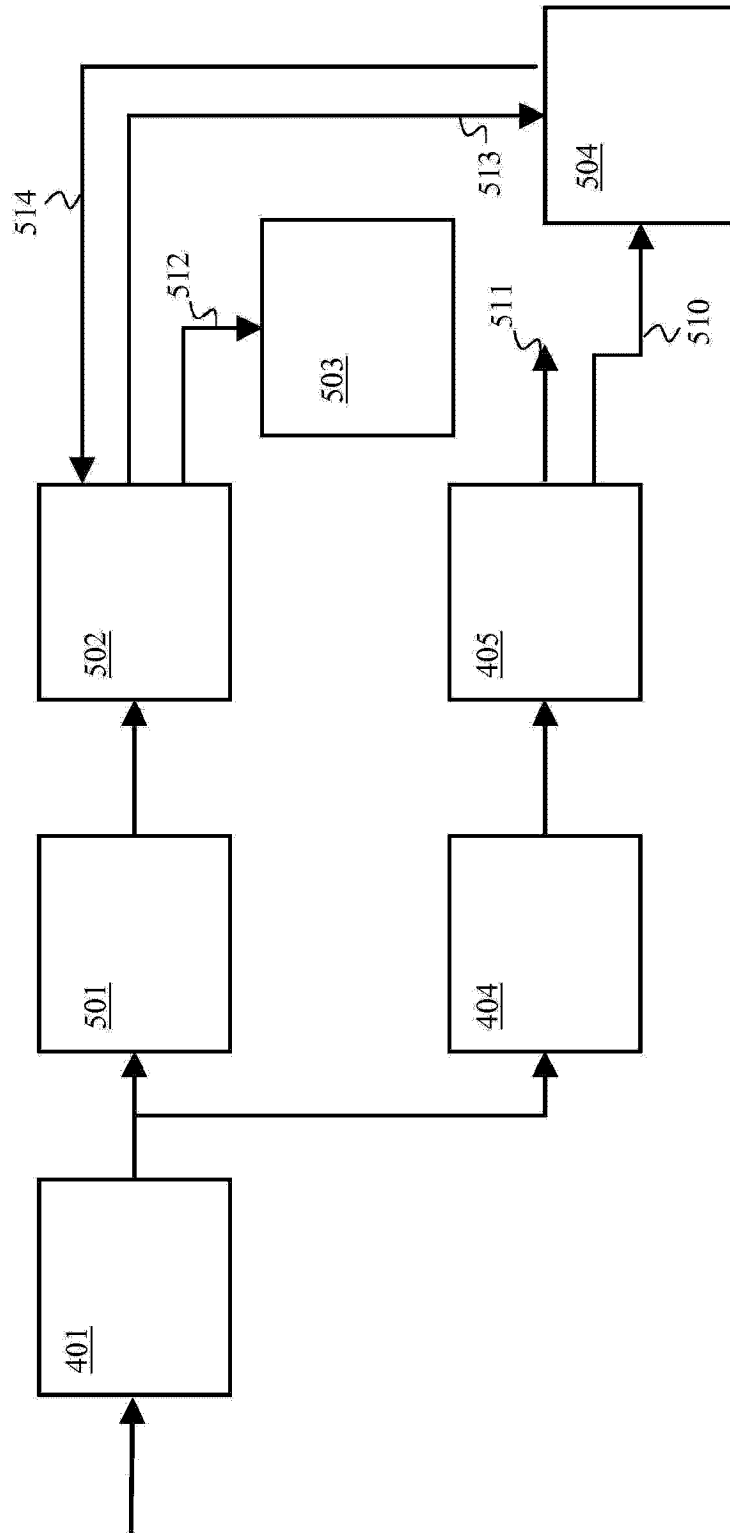


图 6

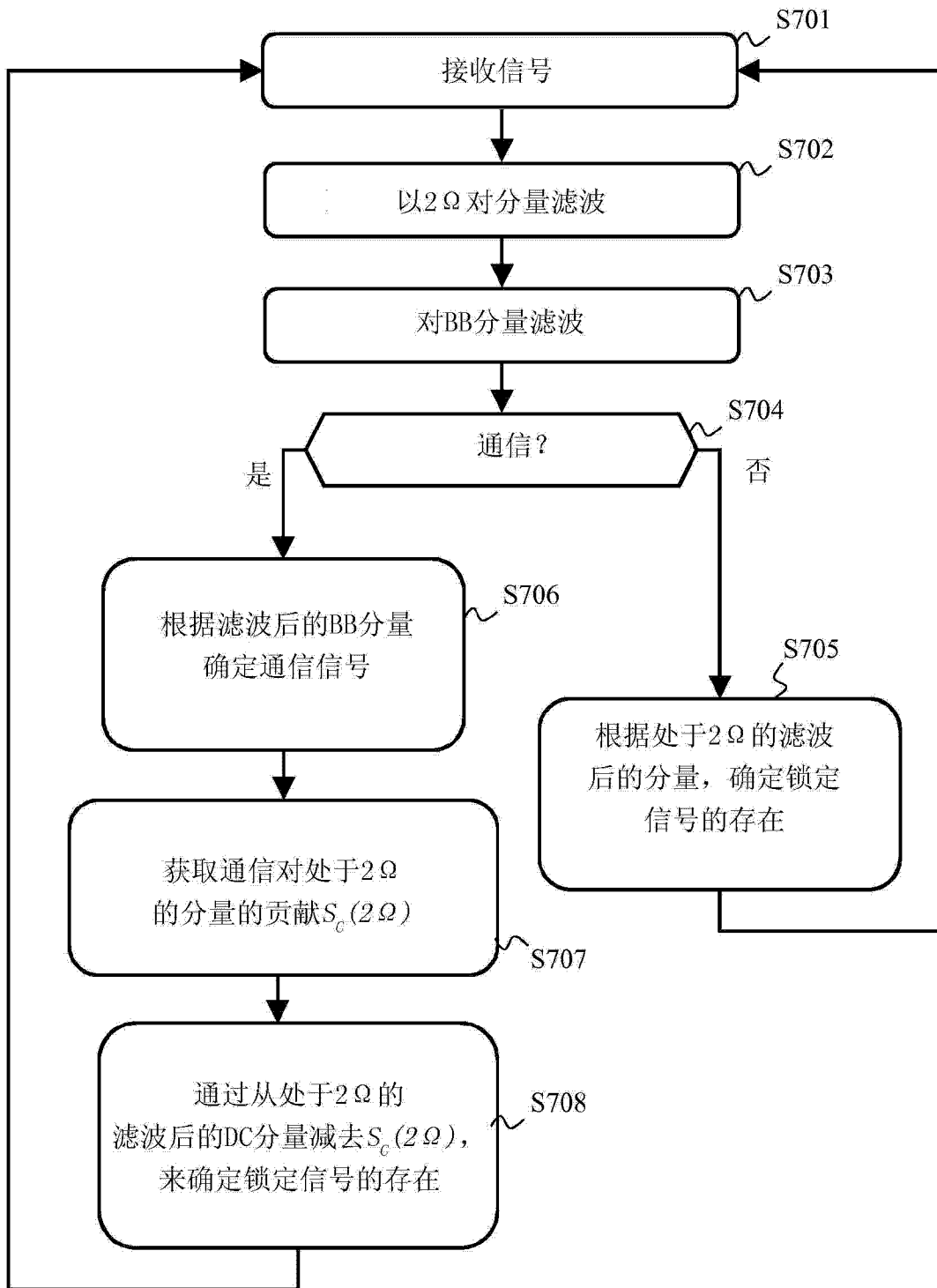


图 7

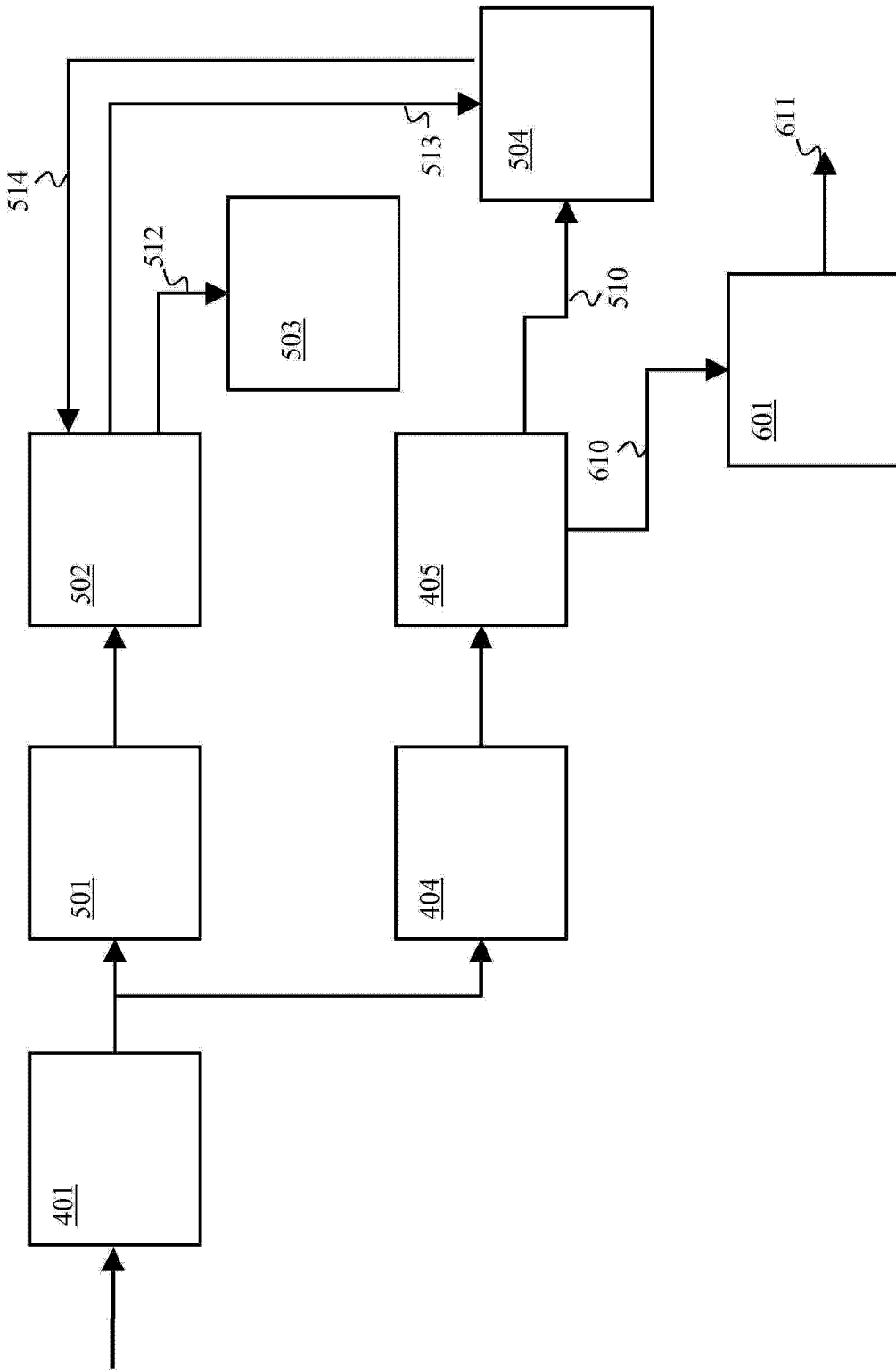


图 8

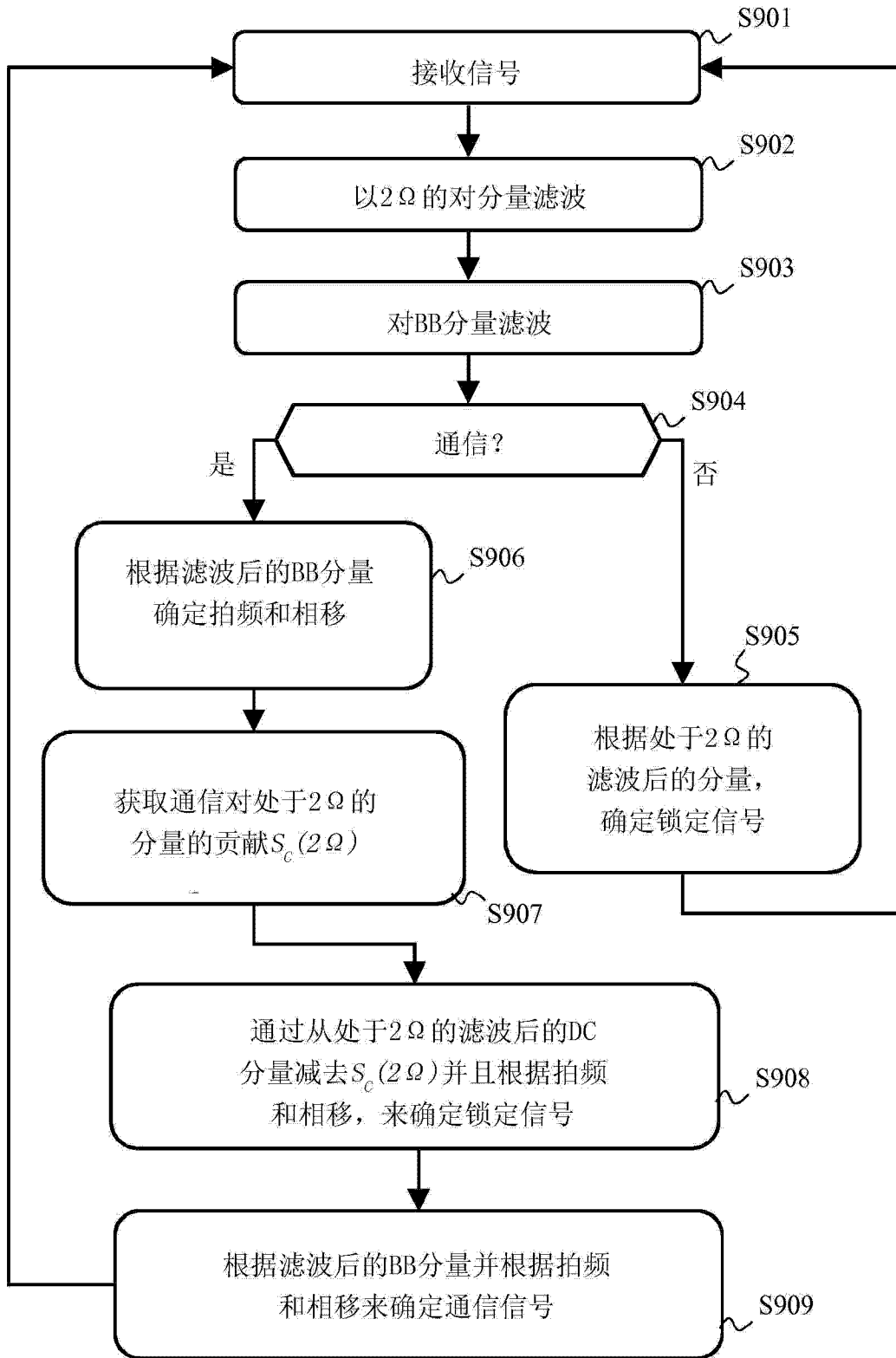


图 9