

1. 一种实现在光突发模式发射机中的光调制器控制系统,所述控制系统包括:
用于在第一控制回路上以第一采样率从调制器测量多个光功率采样值和相关联的光波长数据值的装置,其中,平均功率表适配成从每个采样周期的所述光功率采样值和相关联的光波长数据值生成并且被存储在存储器中;以及
用于以第二采样率从适配成被选择的两个或更多个生成并存储着的平均功率表执行控制误差计算以计算单个误差值来提供增益和 / 或偏置控制信号的装置,其中,所述第二采样率是以比所述第一采样率慢的速率被采样的。
2. 如权利要求 1 所述的光调制器控制系统,其中,所述调制器包括啁啾化的 MZ 调制器,其包括色散受限路径。
3. 如权利要求 2 所述的光调制器控制系统,包括用于锁定至所述 MZ 调制器的传递函数的正或负斜率以产生正或负啁啾化光数据的装置。
4. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,包括用于在波长指派的基础上为所述调制器提供可快速切换的啁啾的装置。
5. 如权利要求 4 所述的光调制器控制系统,其中,所述调制器包括在所述 MZ 调制器上的高带宽专用电极,其包括用于提供在快速波长改变之间的快速非破坏性偏置改变以增加所述色散受限路径的装置。
6. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,其中,所述误差计算过程包括用于为不同波长路由指派的输入参数进行误差值的比例缩放的装置。
7. 如权利要求 6 所述的光调制器控制系统,其中,所指派的输入参数包括可切换的啁啾值,以便单独的啁啾偏置电极电压决定是选择正还是负的 MZ 调制器斜率来增加所述色散受限路径。
8. 如权利要求 7 所述的光调制器控制系统,其中,通过为每条波长路由使用预先确定的啁啾符号常量参考表来调节增量误差值以补偿因所述 MZ 调制器的斜率值引起的误差符号改变,其中,啁啾符号常量具有 +1 或 -1 值。
9. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,其中,抖动信号被施加于所述增益控制信号。
10. 如权利要求 9 所述的光调制器控制系统,其中,所述抖动信号包括小抖动振幅以使抖动噪声最小化。
11. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,其中,所述第一采样率被选成比所述第二采样率快数个数量级。
12. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,其中,光突发功率是参照所述系统中的突发时序安排被异步采样的。
13. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,其中,对于每个光采样功率,相应的设定激光器波长被读取,以便使用 FPGA 来处理所述光采样和波长数据并且向所述存储器发送所述光功率采样值和相关联的光波长数据值作为平均功率表。
14. 如权利要求 13 所述的光调制器控制系统,其中,在采样周期的末尾,为通过最小采样计数准则的每个波长条目计算所述平均功率表,以便为在所述采样周期期间具有足够采样计数的波长计算准确的平均功率。
15. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统,其中,所述误差计算过程处理来自多

个功率表的信息和可切换突发输入参数以计算用于增益或偏置控制的所述单个误差值。

16. 如权利要求 2 或 3 所述的光调制器控制系统, 其中, 所述调制器包括无光功率值, 所述控制系统包括用于提供专用的‘关’激光器波长以在无话务时段期间维持通过所述调制器的光功率的装置。

17. 如权利要求 16 所述的光调制器控制系统, 其中, 所述装置包括定位在所述调制器的输出处的光信道滤波器以阻止所述‘关’波长传播到光网络上。

18. 如权利要求 16 所述的光调制器控制系统, 其中, 以类数据的模式调制所述‘关’波长以提供用于所述第一控制回路的误差信号并且锁定至想要的经优化增益和偏置点。

19. 如权利要求 17 所述的光调制器控制系统, 其中, 以类数据的模式调制所述‘关’波长以提供用于所述第一控制回路的误差信号并且锁定至想要的经优化增益和偏置点。

20. 一种使用实现在光突发模式发射机中的光调制器控制系统来控制光突发模式发射机的方法, 所述方法包括以下步骤:

在第一控制回路上以第一采样率从调制器测量多个光功率采样值和相关联的光波长数据值, 其中, 平均功率表从每个采样周期的所述光功率采样值和相关联的光波长数据值生成并且被存储在存储器中;

以第二采样率从两个或更多个存储着的平均功率表执行控制误差计算以计算单个误差值来提供增益和 / 或偏置控制信号, 其中, 所述第二采样率是以比所述第一采样率慢的速率被采样的。

光网络中的调制器控制系统和方法

发明领域

[0001] 本发明涉及对抗光网络中组件的温度和老化漂移的调制器控制系统和方法。本发明尤其涉及使用可控制的传输参数来优化多条路径上的光突发的传输性能的系统和方法。

[0002] 发明背景

[0003] 铌酸锂 MZ 调制器通常被使用在现代光传输装备中以生成非常高质量的传输信号。高质量的传输信号因具有高性能余量以抵消诸如光噪声和色散之类的传输减损而可传播很长距离。对于一阶, 这些调制器对很宽范围的输入功率和波长不敏感。然而, 这些类型的调制器容易发生老化和温度漂移效应。需要实现闭环控制方案以把这些组件成功地实现到现实生活中的传输装备产品中。现有若干用于控制可应用于标准 WDM 发射机的 MZ 调制器的既定技术, 例如正如在被转让给 Azea 网络公司的美国专利公开号 US2006/0210210 中公开的。

[0004] 通常建立调幅的发射机并对其进行控制以达到最大消光比, 其中逻辑 ‘1’ 输入信号对应于该调制器的最大吞吐量, 并且逻辑 ‘0’ 输入信号对应于该调制器的最小吞吐量。为实现最大光学消光比, 电驱动信号振幅应当在 MZ 的两个组合臂中的两个光级之间创建 180 度的峰 - 峰相位差。创建 180 度峰 - 峰相位差的驱动振幅通常被称为 “ V_{π} ” 驱动信号振幅。还需要 DC 偏置电压, 以便这两个输入逻辑电平电压的绝对相位差发生在对应于最大和最小光级的 0 和 180 度相位差点。如在图 1 中示出的, 最优 DC 偏置电压通常被称为正交偏置点。

[0005] 对于铌酸锂 MZ 调制器, 该最优 DC 偏置电压可能随时间和温度显著地漂移, 因此需要偏置控制回路以维持最优性能, 如图 2 所示。对该调制器的驱动信号振幅要求 (例如, V_{π}) 并不显著改变, 然而驱动信号放大器和相关联的电子器件会老化, 所以通常实现控制回路以维持 V_{π} 驱动信号。

[0006] 现有若干已知的调制器偏置控制方案。一示例为把调制器输出光功率与经优化的参考值进行周期性比较以确定用于偏置校正的误差信号的方案。此办法需要用于整个输入功率和波长范围的经校准的查找表, 并且易发生随时间推移的老化效应问题。

[0007] 替换办法是使用误差信号从相对的光功率差确定的抖动控制信号。此技术具有在无需复杂校准规程的情况下工作在很宽的输入功率和波长范围上的优势。对于偏置控制, 小的摄动性抖动信号被施加于驱动器增益。可使用模拟控制电子器件或数字微处理器控制回路来生成该抖动信号。该驱动器增益变化引起对该驱动信号振幅的小步改变, 该小步改变进而引起在该调制器输出处小的光功率改变。该光功率改变被用作校正偏置电压的误差信号。对于 MZ 调制器, 该光功率改变 (或误差信号) 合宜地在最优偏置位置趋于零, 如图 2 所示。

[0008] 替换地, 可用类似的例程来优化该驱动器振幅。在此可以使该偏置电压而不是使增益抖动, 并且以相同方式监视光功率改变, 以创建该驱动器增益的误差信号。也可以顺序地运行偏置和增益抖动优化例程两者, 其中最优偏置或增益值是在不管另一偏置 / 增益状态的情况下找到的。该抖动例程被设计成以比任何温度和老化效应都快的速率操作, 因此

可终生维持该最优偏置和增益位置。

[0009] 直接功率和抖动调制器控制技术两者都可被成功实现在标准 WDM 传输装备中,在其中以固定波长使用标准连续波(CW)激光器。然而,对于使用光突发交换技术的下一代系统,现有技术控制方案有数个限制从而使得这些方案不可使用。

[0010] 对于突发模式发射机,激光器被迅速切换成开和关并且可被设置成任何波长或功率。因此该控制回路必须对非常快速的激光器功率和波长改变不敏感。而且,该激光器可能被长时期关机;因此该调制器偏置可能在没有反馈控制的情况下漂移。

[0011] 对于直接光功率反馈控制方案,快速突发包络检测器和比较器可被用以将光功率与特定波长设置的参考功率作比较。然而,此方案的问题在于其依赖于会随时间推移改变的复杂校准规程。

[0012] 对于标准抖动控制方案,调制器输入功率和波长必须在两个相继的控制步骤期间保持恒定以便正确测量光功率差。因此对于每个突发,光功率必须被采样两次;这要求非常快速的采样与抖动电路、对每个突发的起始与结束的知识、和与波长相关的突发设置。这是复杂的规程,实现起来很昂贵,并且易因突发传输效应(例如,功率瞬变)发生大的控制误差出入。

[0013] 因此需要提供一种调制器控制系统和方法以对抗光网络中的组件的温度和老化漂移问题并且使用可控制的传输参数来优化多条路径上的光突发的传输性能。

发明概要

[0014] 如在随附的权利要求中阐述的,根据本发明提供实现在光突发模式发射机中的光调制器控制系统,所述控制系统包括:

[0015] 用于以第一采样率从调制器测量多个光功率采样值和相关联的光波长数据值的装置,其中平均功率表从每个采样周期的所述值生成并且被存储在存储器中;

[0016] 用于以第二采样率从两个或更多个存储着的平均功率表执行控制误差计算以计算单个误差值来提供增益和/或偏置控制信号的装置,其中该第二采样率是以比第一采样率慢的速率被采样的。

[0017] 本发明描述用于突发模式发射机的成功优化随温度和寿命推移的调制器性能的控制方法和系统。本发明的控制方案提供以下优势:

[0018] • 与每个突发相关联的可快速切换的输入参数(例如,波长、功率、FEC 增益、比特率)。

[0019] • 在波长指派基础上的可快速切换的啁啾,用于改进色散容限并且增加系统作用范围

[0020] • 在其中无需波长分配的路由的长的无话务时段期间的持续性能优化。

[0021] • 与突发时序安排异步的小抖动信号,用于偏置和增益控制。

[0022] • 对调制器输出处的突发的异步光功率采样。

[0023] • 从多个输入参数计算单个控制误差值。

[0024] 在一个实施例中,调制器包括啁啾化 MZ 调制器,其包括色散受限路径。

[0025] 在一个实施例中,第一控制回路包括用于锁定到该 MZ 调制器的传递函数的正或负斜率上以产生正或负啁啾化的光数据的装置。

[0026] 在一个实施例中,提供了用于在波长指派的基础上为所述调制器提供可快速切换的啁啾的装置。

[0027] 在一个实施例中,该调制器包括在该 MZ 调制器上的高带宽专用电极,其包括用于提供在快速波长改变之间的快速非破坏性偏置改变以增加所述色散受限路径的装置。

[0028] 在一个实施例中,误差计算过程包括用于为不同波长路由指派的输入参数进行误差值的比例缩放的手段。

[0029] 在一个实施例中,所指派的输入参数包括可切换的啁啾值,以便单独的啁啾偏置电极电压决定是选择正还是负的 MZ 调制器斜率来增加所述色散受限路径。

[0030] 在一个实施例中,通过为每条波长路由使用预先确定的啁啾符号常量参考表来调节增量误差值,以补偿因 MZ 调制器的斜率值引起的误差符号改变,其中啁啾符号常量具有 +1 或 -1 值。

[0031] 在一个实施例中,抖动信号被施加于增益控制信号。

[0032] 在一个实施例中,该抖动信号包括小抖动振幅以使抖动噪声最小化。

[0033] 在一个实施例中,第一采样率被挑选成比第二采样率快数个数量级。

[0034] 在一个实施例中,光突发功率是参照系统中的突发时序安排被异步采样的。

[0035] 在一个实施例中,规定对于每个光采样功率,相应的设定激光器波长被读取,以便使用 FPGA 来处理该光采样和波长数据并且向存储器发送这些值作为平均功率表。

[0036] 在一个实施例中,在采样周期的末尾,为通过最小采样计数准则的每个波长条目计算该平均功率表,以便为在该采样周期期间具有足够采样计数的那些波长计算准确的平均功率。

[0037] 在一个实施例中,该误差计算处理来自多个功率表的信息和可切换突发输入参数,以计算用于增益或偏置控制的单个误差值。

[0038] 在一个实施例中,调制器包括无光功率值,控制系统包括用于提供专用的‘关(off)’激光器波长以维持无话务时段期间通过该调制器的光功率的装置。

[0039] 在一个实施例中,所述装置包括定位在该调制器的输出处的光信道滤波器,以阻止该‘关’波长传播到光网络上。

[0040] 在一个实施例中,以类数据的模式调制该‘关’波长以提供用于第一控制回路的误差信号,并且锁定至想要的经优化的增益和偏置点。

[0041] 在另一实施例中,提供了使用实现在光突发模式发射机中的光调制器控制系统来控制该光突发模式发射机的方法,所述方法包括以下步骤:

[0042] 在第一控制回路上以第一采样率从调制器测量多个光功率采样值和相关联的光波长数据值,其中平均功率表从每个采样周期的所述值生成并且被存储在存储器中;

[0043] 以第二采样率从两个或更多个存储着的平均功率表执行控制误差计算以计算单个误差值来提供增益和 / 或偏置控制信号,其中该第二采样率是以比第一采样率慢的速率被采样的。

[0044] 一种用于在光网络中使用的控制系统包括:

[0045] 用于以第一采样率从调制器测量多个光功率采样值和相关联的光波长数据值的装置,其中平均功率表从每个采样周期的所述值生成并且被存储在存储器中;

[0046] 用于以第二采样率从两个或更多个存储着的平均功率表执行控制误差计算以计

算单个误差值来提供增益和 / 或偏置控制信号的装置, 其中该第二采样率是以比第一采样率慢的速率被采样的。

[0047] 还提供了一种包括用于使计算机程序执行以上方法的程序指令的计算机程序, 其可被实施在记录介质、载波信号或只读存储器上。

[0048] 附图简要描述

[0049] 参照附图从仅藉由示例给出的本发明实施例的以下描述将可更清楚地理解本发明, 附图中:

[0050] 图 1 解说了 MZ 调制器在其驱动振幅和 DC 偏置工作点意义上的特性;

[0051] 图 2 示出 MZ 调制器偏置漂移以及对性能和控制误差信号的作用的示例;

[0052] 图 3 示出对于固定啁啾和可切换啁啾应答器的色散容限的示例;

[0053] 图 4 示出经校正的误比特率对照标准和增强 FEC 增益数据的色散的示例;

[0054] 图 5 解说光突发切换环形网络示例和不同的波长路由的路径;

[0055] 图 6 解说根据本发明的用于突发模式调制器控制方案的关键构建框;

[0056] 图 7 解说根据本发明的用于该突发模式调制器控制方案的详细拓扑;

[0057] 图 8 示出顶层的调制器偏置控制算法的流程图;

[0058] 图 9 示出顶层的驱动器增益控制算法的流程图;

[0059] 图 10 示出光功率采样例程的流程图;

[0060] 图 11 示出小步控制误差计算例程的流程图;

[0061] 图 12 示出啁啾输入设置、光功率采样、功率差和偏置误差对照信道波长的参考表示例; 并且

[0062] 图 13 示出比例 / 偏移控制误差计算例程的流程图。

[0063] 附图详细描述

[0064] 现在参照图 5, 图中解说了光突发交换的环形网络, 在该环形网络中数据在可变长度突发中被传输, 其中每个突发具有指派的载波波长。波长域被用以将突发话务从源节点光学地路由至目的地节点。每个突发在目的地节点处投下之前可路由通过数个节点和不同跨长。发射激光器波长可被迅速地调谐至任何信道分配, 以允许实现对网络上的任何节点的完全网状连通性。对于每个发射机, 可为每个突发设置数个光、电和数据层参数以管理路径性能余量, 例如, 光功率、啁啾、FEC 增益等。这些输入参数是在每条波长分配的路由的起始设置的。

[0065] 图 6 和 7 解说本发明的优选实施例, 其中提供由附图标记 10 和 20 总括地指示的突发模式调制器控制方案以优化在图 5 中示出的光突发模式环形网络中的发射机和路径性能余量。在图 5 和 6 中示出的该控制方案包括具有用于以第一采样率从调制器测量多个光功率采样值和相关联的光波长数据值的装置的第一控制回路。平均功率表从每个采样周期的这些值生成并且被存储在存储器中。第二控制回路包括用于以第二采样率从两个或更多个存储着的平均功率表执行控制误差计算以计算单个误差值来提供增益和 / 或偏置控制信号的装置, 其中该第二采样率是以比第一采样率慢的速率被采样的。对于本发明, 优选使与该第二控制回路相关联的调制器偏置和增益刷新率比光突发功率采样率慢。以此方式, 可充分补偿任何缓慢的温度改变和老化特性, 并且可捕捉到足够的采样以实现可靠的误差信号。在本发明的上下文中, 该第一和第二控制回路可被视作单个控制系统。图 8 和 9 解

说示出可如何设置偏置和增益控制信号的流程图。

[0066] 可进一步通过在色散受限路径上优选地使用固有地啁啾化的 MZ 调制器来增加系统余量。所描述的调制器偏置控制回路可锁定到该 MZ 调制器传递函数的正或斜率上,因此产生正或负啁啾化光数据。如图 3 所示,使用自适应啁啾符号发射机可使应答器的色散容限增加达 >50%。该控制系统在波长指派的基础上提供可快速切换的啁啾。优选使用该 MZ 调制器上的高带宽专用电极以提供快速偏置改变,例如,具有 >1MHz 的偏置端口带宽的双电极。这避免在数据驱动的电极上产生任何串扰。

[0067] 所施加的啁啾偏置电压可以是两个值之一。优选地,这两个啁啾偏置电压值之间的电压差应当是 V_{pi} ,即,这两个 MZ 斜率的正交点之间的电压离距。该可切换啁啾方案要求在啁啾偏置电压改变期间对数据源极性和误差信号符号进行同步改变。

[0068] 对于调制器偏置优化,可向该调制器驱动器放大器增益控制电压施加抖动信号。挑选小的抖动振幅,以使得给数据流带来的抖动噪声最小化但提供足够强的扰动以便找到可靠的误差信号。例如,典型抖动调制振幅被选为 <5%,以对 <0.2dB 的数据模式给予消光比惩罚。该抖动步周期可以比突发周期长得多(数个数量级)以考虑温度/老化效应和控制电路带宽限制,但优选短到足以得到合理的控制回路响应,这在例如装备启动时期是很有用的。对于本发明,所施加的抖动信号是独立于突发状态的。

[0069] 当在调制器输出处对光功率进行采样时,光监视器应当具有足以测量突发包络功率的带宽(或分辨率),以便例如分辨亚微秒突发。采样率被选成比抖动步速率快数个数量级。最大光功率采样率被选成对突发内的任何数据模式内容以及任何突发输入设置参数不敏感。可参照突发时序安排来异步地采样光突发功率。所描述的控制方案并不取决于突发当前状态,即,一系列测得的采样可以来自相同波长突发、不同波长突发,或无突发存在的时段期间。

[0070] 大量的光采样在每个抖动步循环期间被捕捉。对于每个光采样功率,读取相应的设定激光器波长。使用 FPGA 或等效处理手段来处理该光采样和波长数据,并且将这些值发送到临时存储器位置。从存储器和通信带宽的视角来看,为每个波长而不是个体的值处理累积的采样功率值和采样计数是优选的。在该抖动周期的末尾,为通过最小采样计数准则的每个波长条目计算平均功率。以此方式,就为在该抖动步周期期间具有足够采样计数的波长找到准确的平均功率。该平均功率表被发送至调制器控制处理器(或由其请求),其存储该值表直至误差计算例程被运行。由 FPGA 在每个抖动步的起始将用于累积功率和采样计数记忆的临时存储器位置复位。图 10 解说示出如何从数个不同采样生成光功率表的流程图。

[0071] 误差计算例程处理来自多个表条目的信息和可切换突发输入参数,并且计算用于增益或偏置控制的单个误差值。对于每个抖动步,从 FPGA 向调制器控制微处理器传输平均功率对照信道波长的表。在两个相继的抖动步之后,可为每个有效的波长条目比较两个表之间的平均功率差。对于偏置控制,使用来自两个相继增益抖动步的功率差。对于增益控制,使用来自两个相继偏置抖动步的功率差。图 11 示出小步控制误差计算例程的流程图。

[0072] 对于每个波长,取决于两个表条目之间的功率差是正还是负来计算 +1 或 -1 功率差符号值。对于其中未给出功率条目的波长条目,存储零(0)符号值。

[0073] 该误差计算过程的进一步方面是要为不同波长路由指派的输入参数进行误差值

的比例缩放。例如,早前描述的可切换啁啾方案,单独啁啾偏置电极电压决定使用哪个 MZ 斜率,并且是与波长路径相关的。调节功率误差值以补偿因这两个 MZ 斜率选项引起的误差符号改变。为每个波长路由使用预先确定的啁啾符号常量参考表,其中诸条目具有 +1 或 -1 值。通过把该啁啾符号常量乘以功率差符号值来得到新误差值。图 12 示出可被存储的啁啾输入设置、光功率采样、功率差、和偏置误差对照信道波长的参考表示例。

[0074] 所有新误差值表条目然后被加总。如果总累积值是正的,那么报告 +1 的最终平均误差值。如果总累积值是负的,那么报告 -1 的最终平均误差。如果累积误差值是零,那么最终平均误差是零。使用该单个平均误差值以通过简单地把该误差信号加到当前增益或偏置值上来校正增益或偏置设定点。一旦已经更新该设定点,那么重复整个控制回路。

[0075] 在所描述的误差计算中,最终误差信号对于每个循环取 +1、0、或 -1 值。该小固定步反馈办法向可能引起不正确的功率监视器读数的任何外部输入事件添加了回弹性。

[0076] 在突发模式光系统中,可能有无需波长路由的连接路径因此无需激光器功率的长时期。本发明的进一步方面是要使用专用的‘关’激光器波长以在无话务时期期间维持通过调制器的光功率。该‘关’激光器波长可对于所有发射机相同但必须不是话务保留的波长。优选地,应当在调制器输出处使用光信道滤波器以阻止‘关’波长传播到网络上。优选地,应当以类数据的模式调制该‘关’波长,以便为调制器控制回路提供强误差信号并且锁定至与‘开(on)’信道波长状态相同的经优化增益和偏置点。

[0077] 在本发明的一替换性实施例中,最终误差信号值可取与诸突发之间的功率差成比例的一定范围的值。而且,例如,可把每个波长值乘以一常量以使控制回路响应加速或减速。再进一步,可对每个功率差值施加一偏移常量以改变偏置和增益控制回路的最优锁定点。

[0078] 通过把一常量加到偏置控制回路的波长值上,便可将目标偏置点从正交点移开。已经示出通过把偏置点设置为稍低于正交点可看到轻微性能(消光比)改进。图 13 示出比例 / 偏移控制误差计算例程的流程图。替换地,通过把一偏移量加到增益控制回路的波长值上,便将目标驱动信号振幅从调制器的 V_{pi} 移开。除 V_{pi} 以外的其它驱动振幅在通过例如改变光占空比或啁啾来改进传输性能的意义上是有益的。

[0079] 将领会,调制器控制方案对具有不同 FEC 增益(例如,3dB 或 7dB 净编码增益)和比特率(例如,9.95Gbps 或 11.3Gbps)的突发是透明的。因此,路径性能余量可被增加以允许在富有挑战性的链路上进行传输,如图 4 所示。

[0080] 本发明中的参照附图描述的实施例包括计算机装置和 / 或在计算机装置中执行的过程。然而,本发明还沿及计算机程序,尤其是存储在适配成把本发明付诸实践的载体之上或之中的计算机程序。该程序可以是源代码、目标代码、或源代码与目标代码中间的代码的形式,诸如呈经部分编译的形式或任何其他适合于在根据本发明的方法的实现中使用的形式。载体可包括存储介质,诸如例如 CD ROM 的 ROM,或者例如软盘或硬盘的磁记录介质之类。载体可以是可经由电缆或光缆或者由无线电或其他手段传输的电或光信号。

[0081] 本发明不限于本文中前述的诸实施例,而是可在构造和细节两者上有所变化。

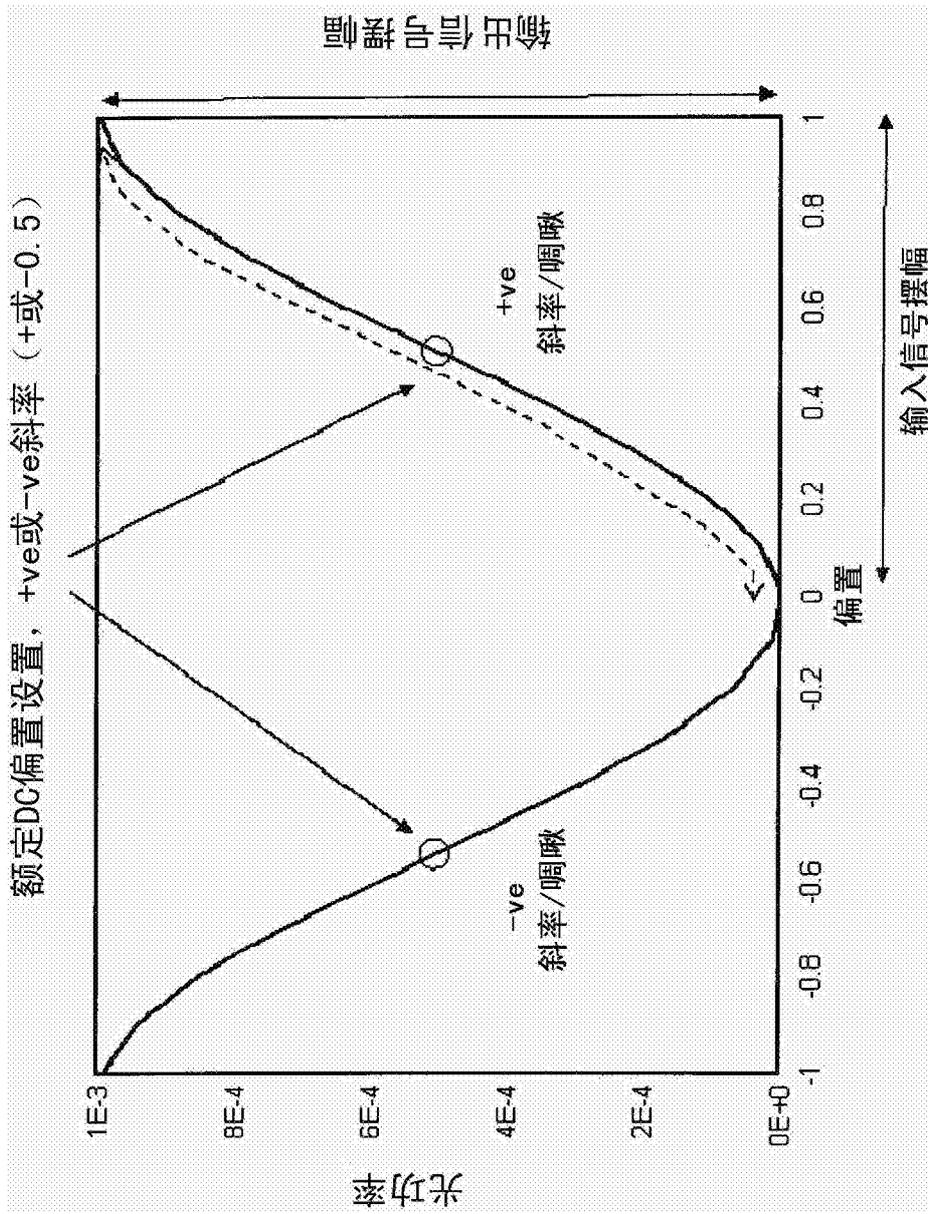


图 1

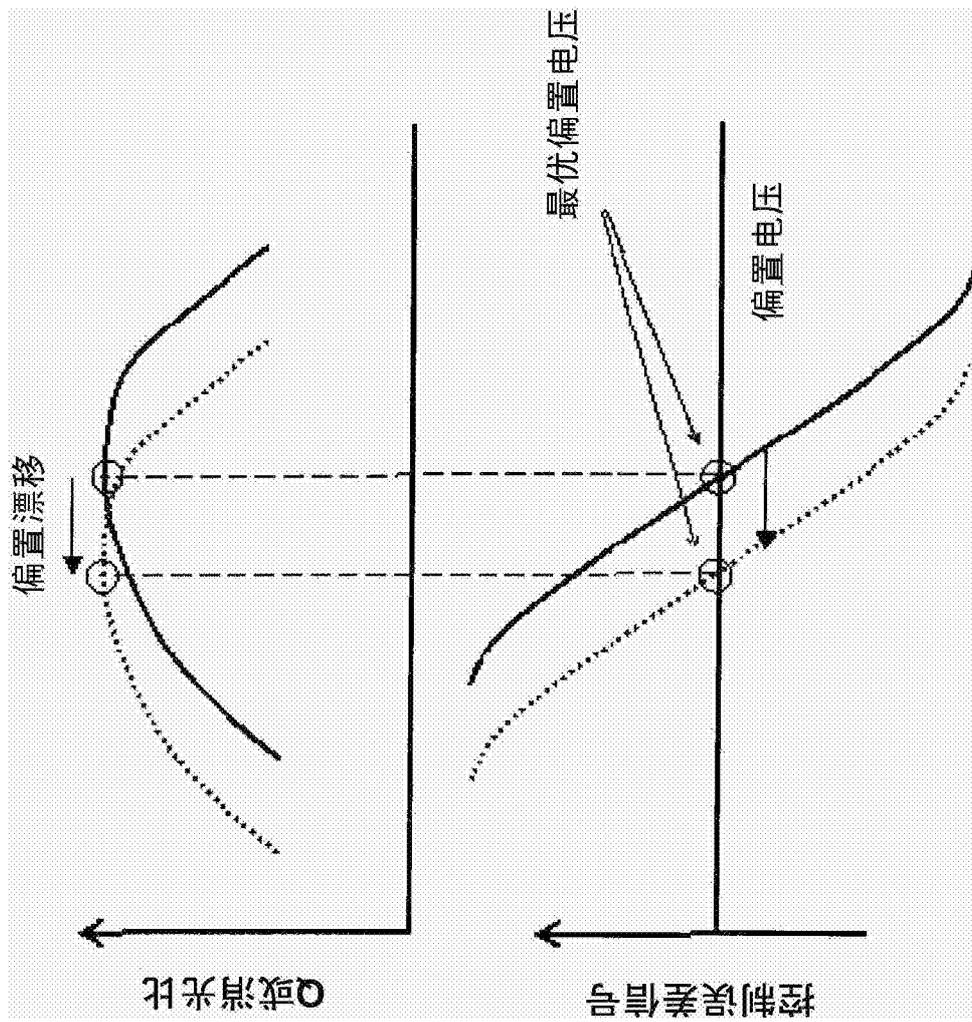


图 2

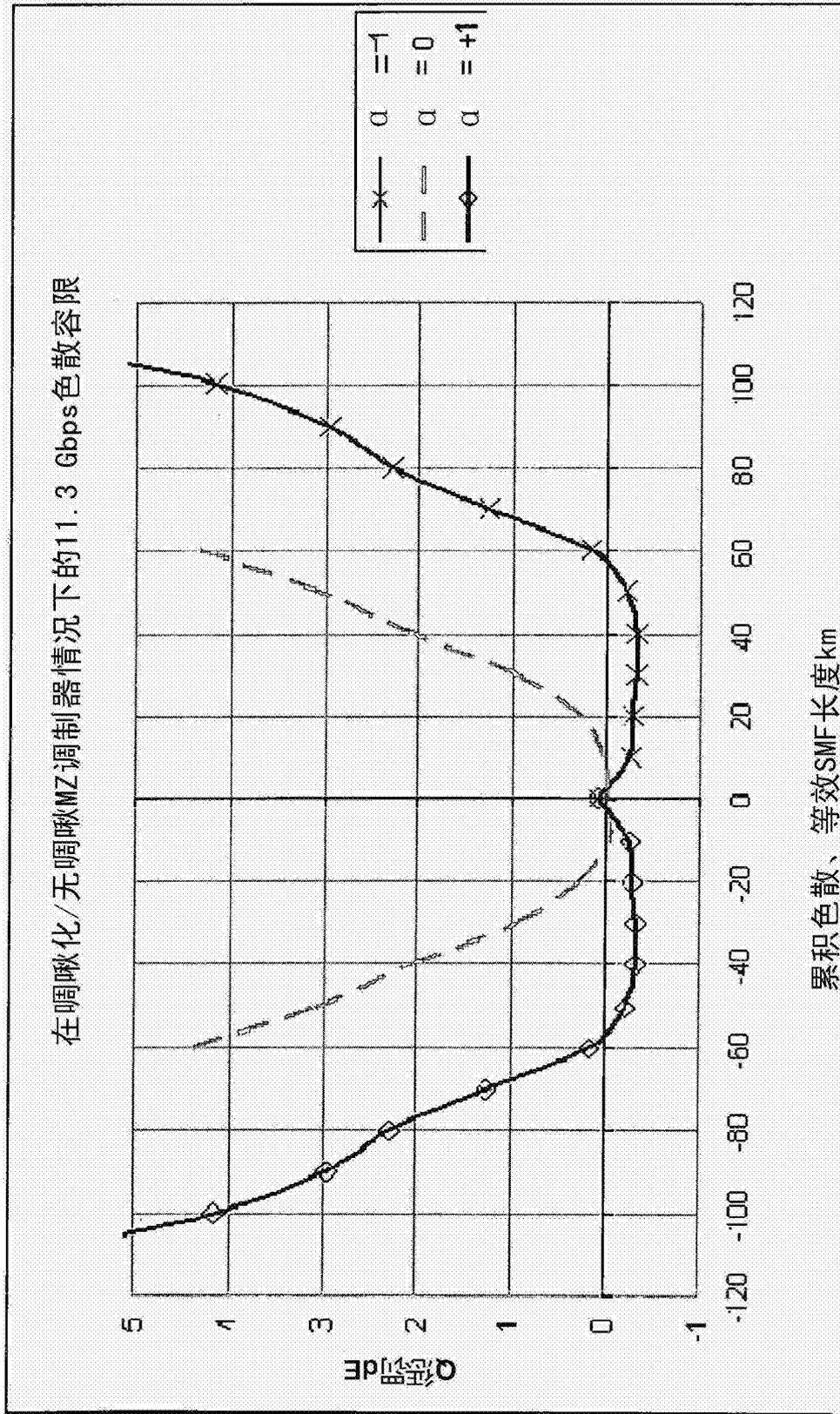


图 3

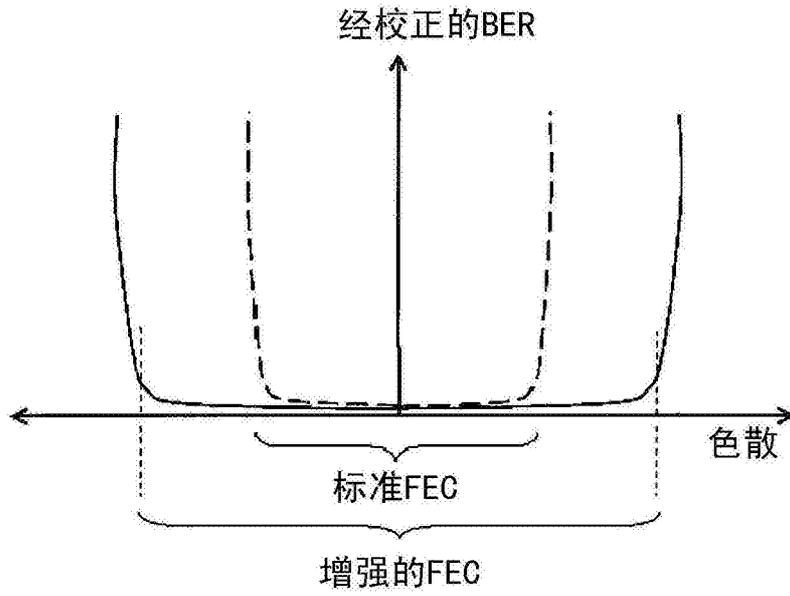


图 4

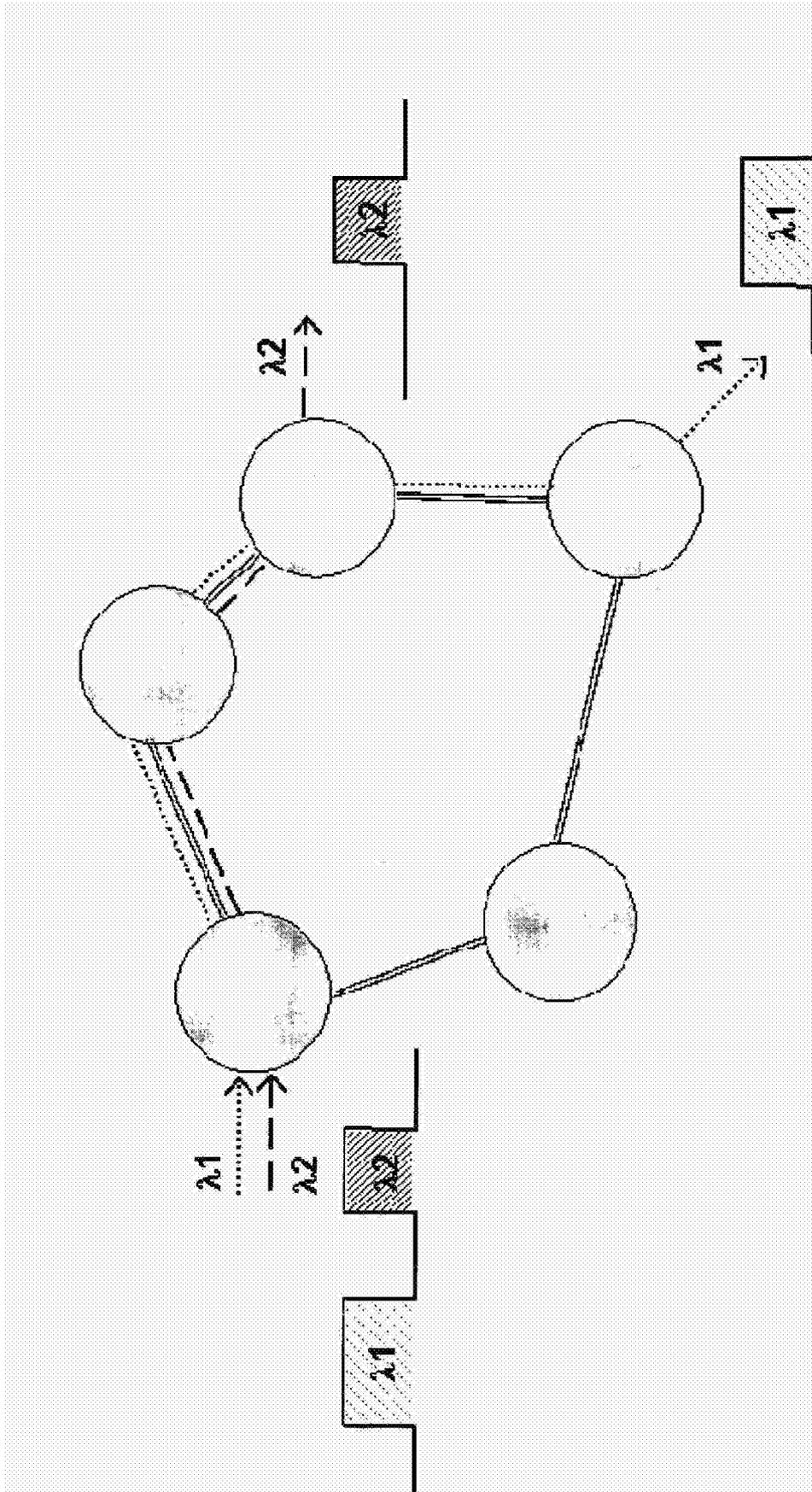


图 5

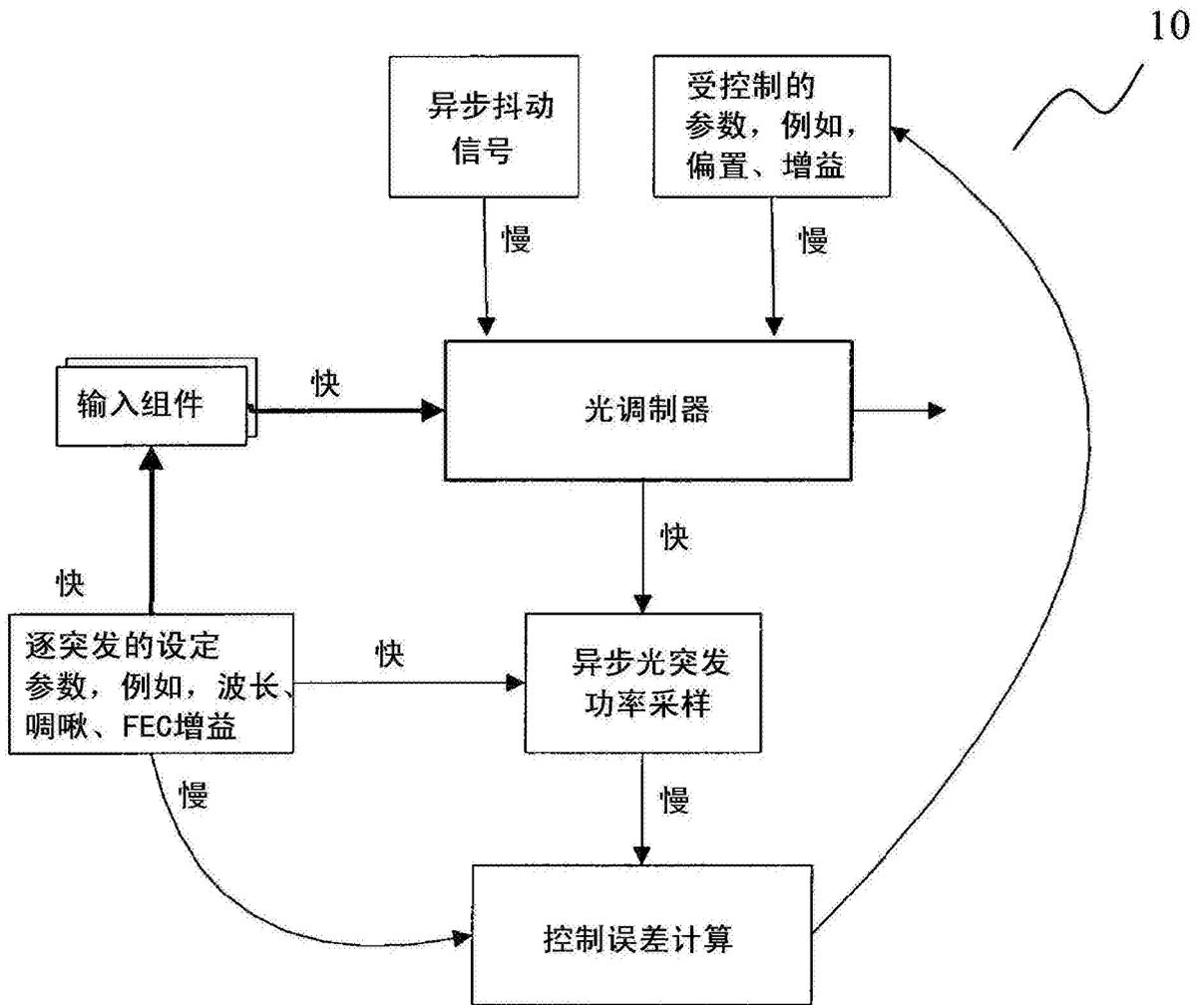


图 6

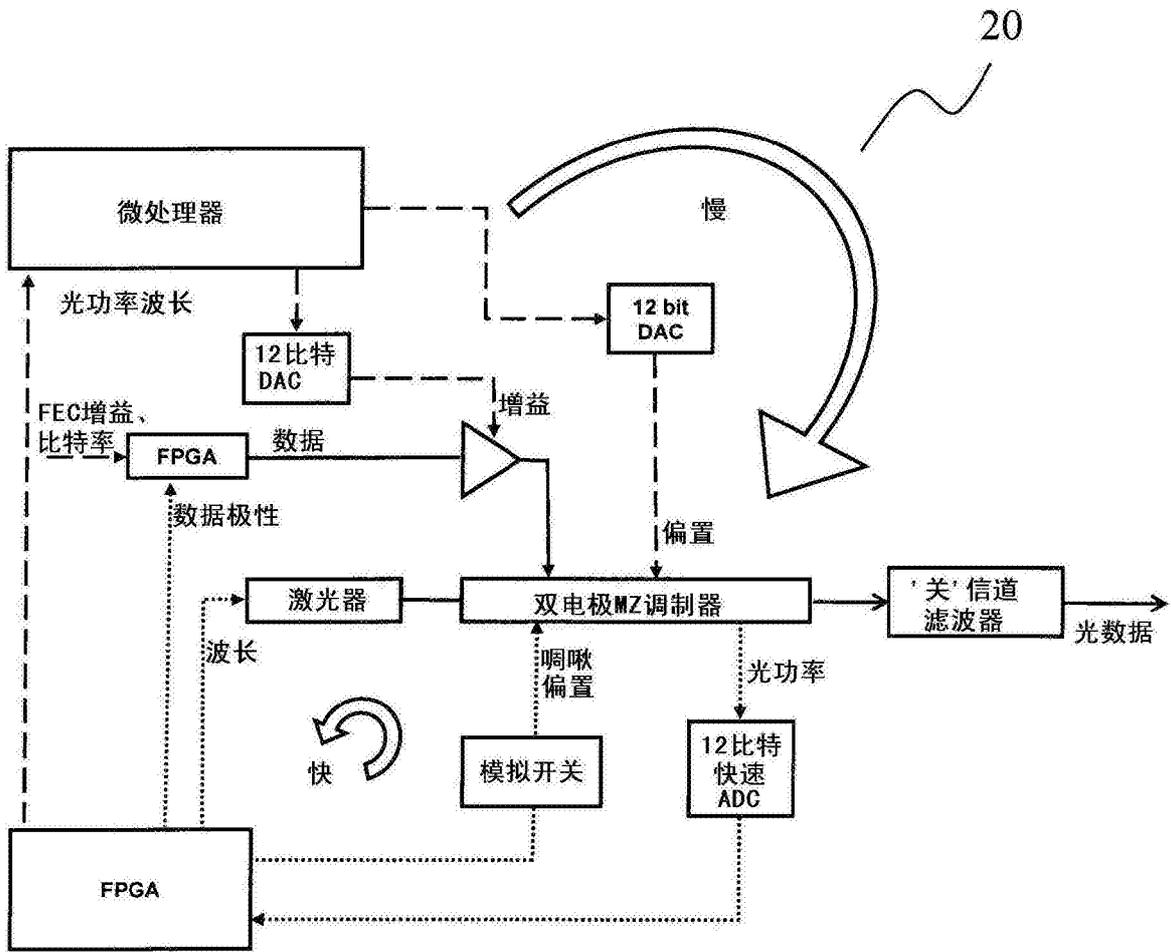


图 7

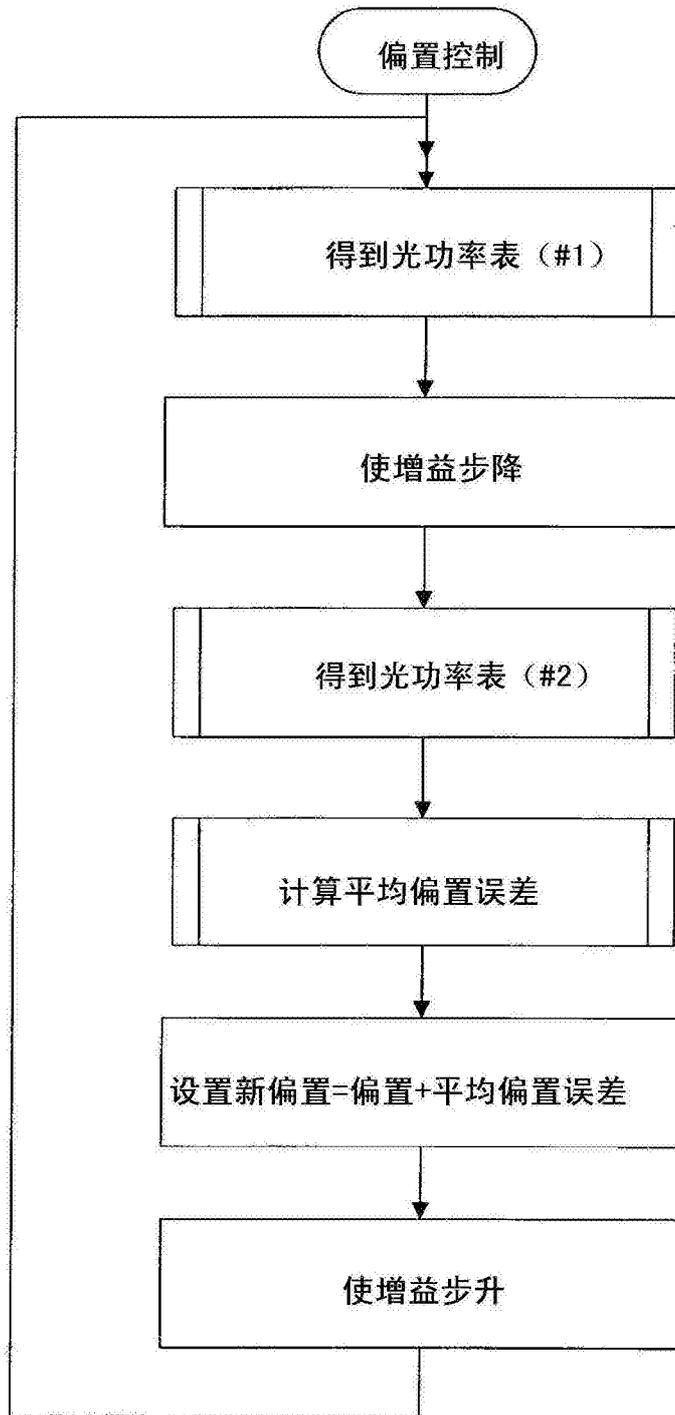


图 8

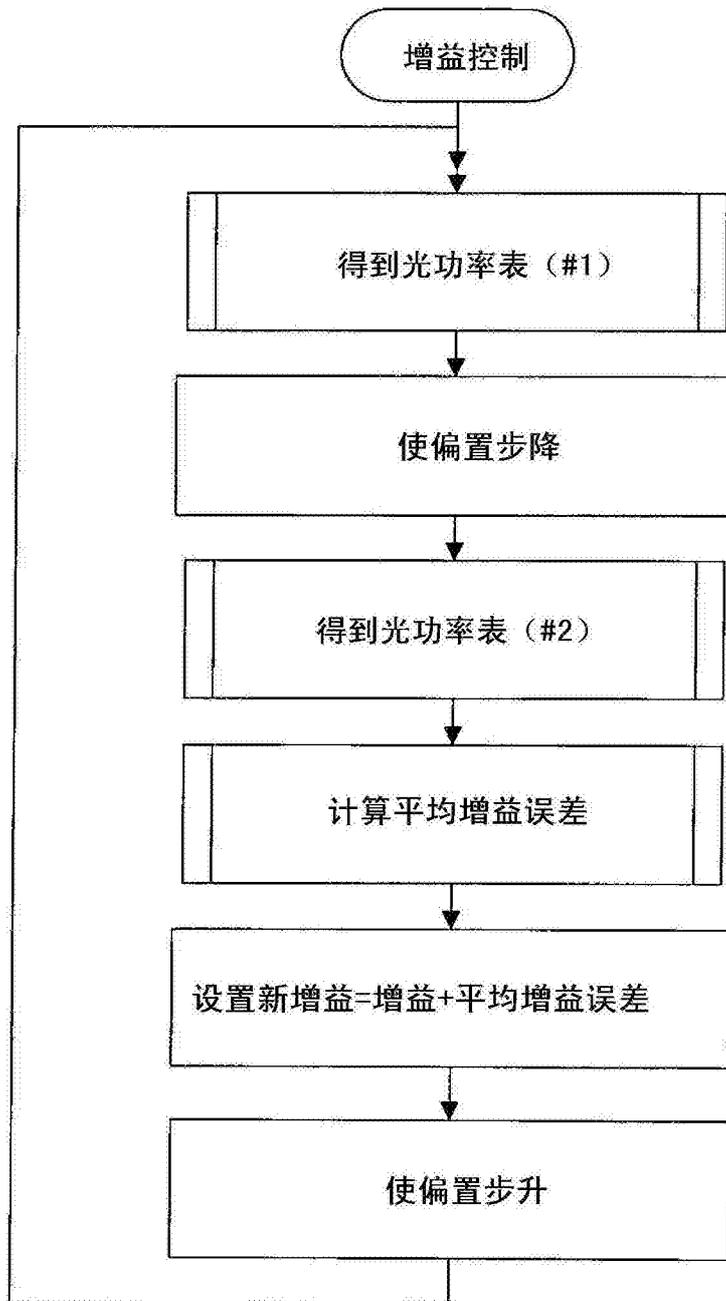


图 9

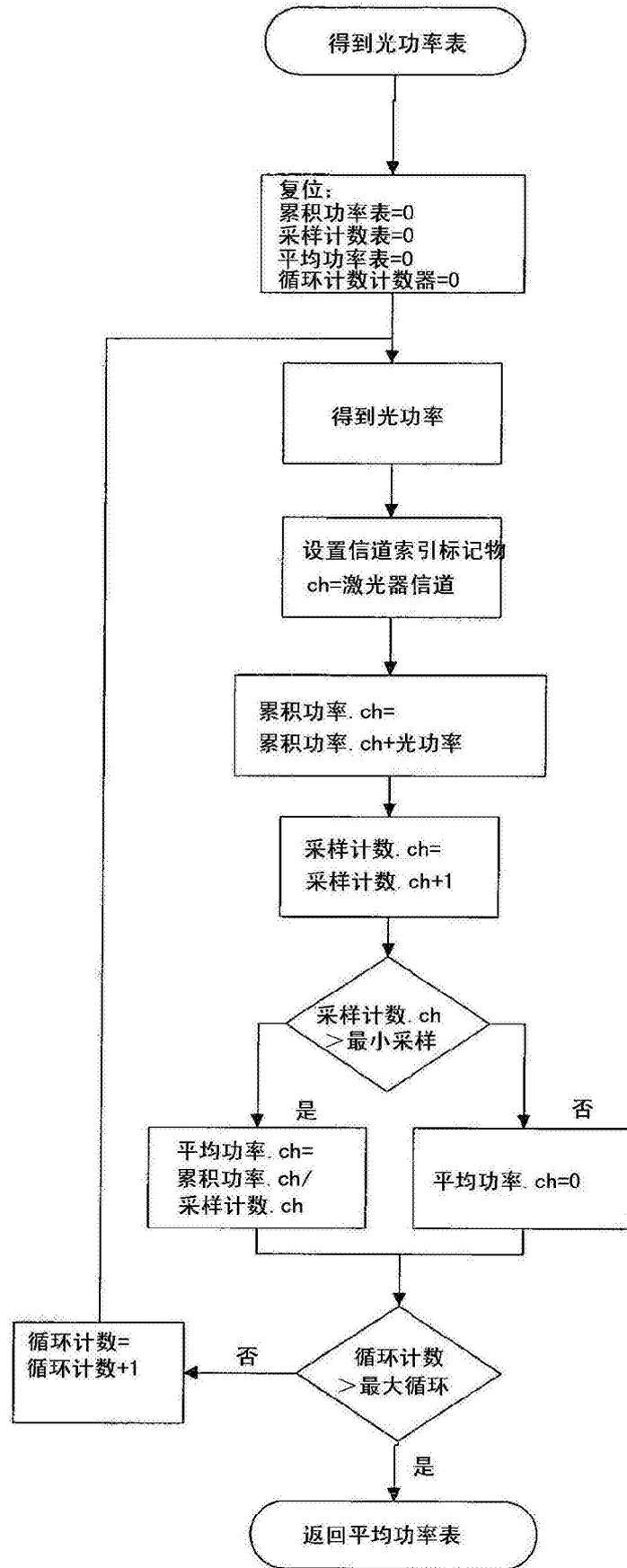


图 10

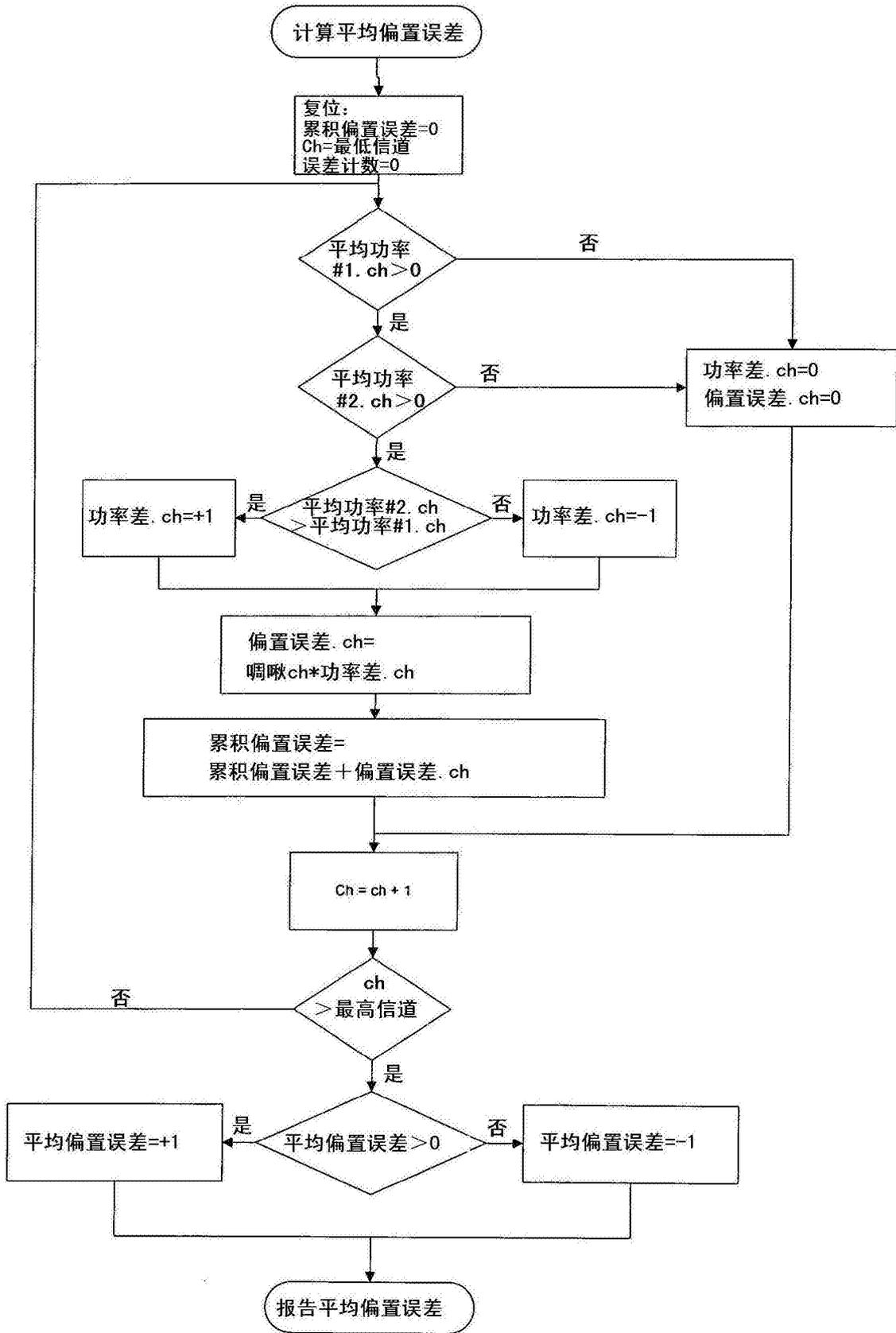


图 11

Ch	啁啾	平均功率#1	平均功率#2	功率差	偏置误差
1	-1	2346	2340	-1	+1
2	1	2419	0	0	0
3	1	0	0	0	0
4	1	2888	2889	+1	+1

图 12

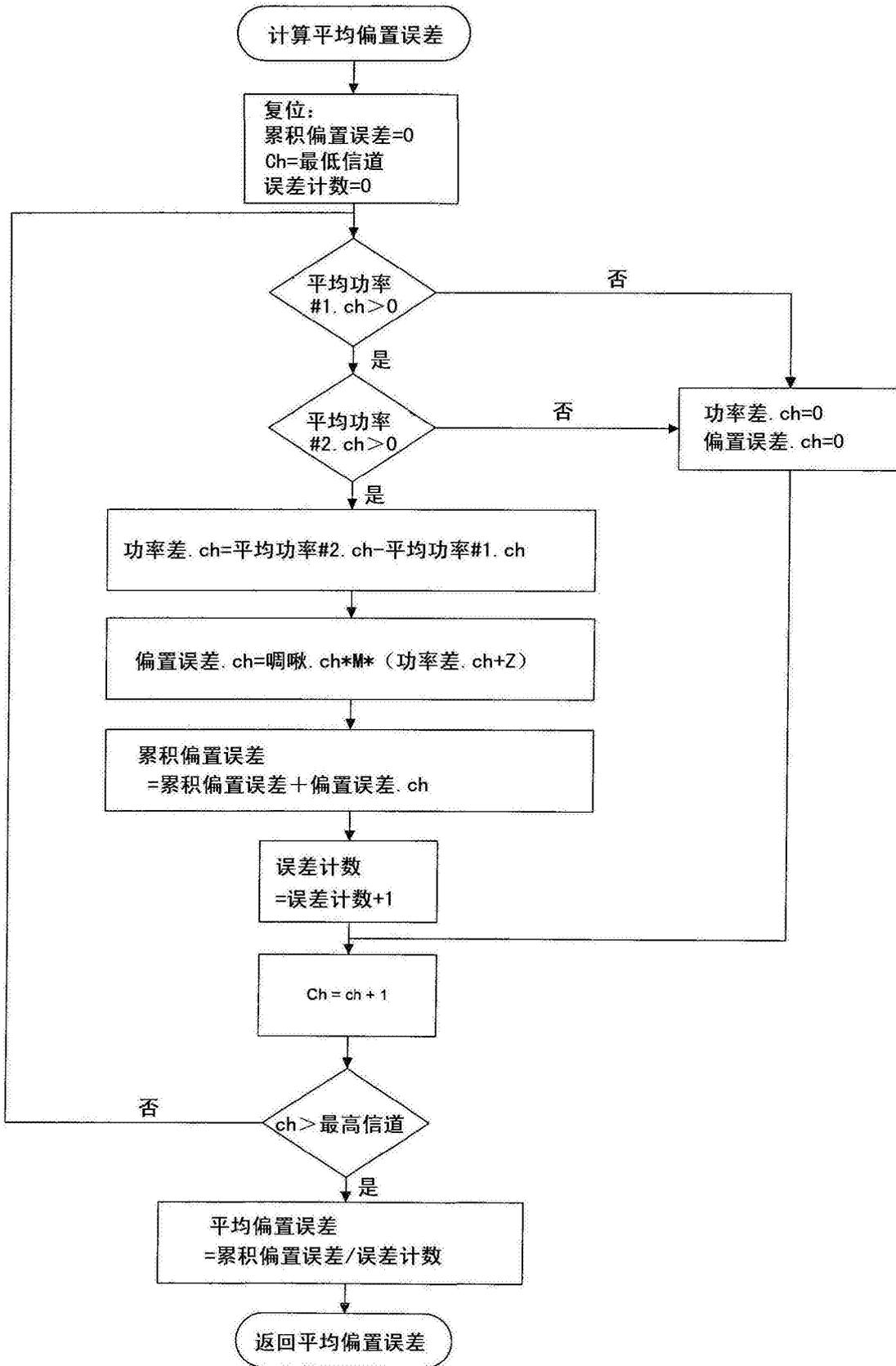


图 13