



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310113565.2

[45] 授权公告日 2007 年 1 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 1295894C

[22] 申请日 2003.11.18

[21] 申请号 200310113565.2

[73] 专利权人 北京邮电大学

地址 100088 北京市海淀区西土城路 10 号

[72] 发明人 张晓光 于丽 郑远 沈昱
周光涛 陈林 席丽霞 杨伯君

[56] 参考文献

CN1211744A 1999.3.24 G02F1/01

US6567167B1 2003.5.20 G01J4/00

US5949560A 1999.9.7 H04B10/08

审查员 左萌

[74] 专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司
代理人 闫立德

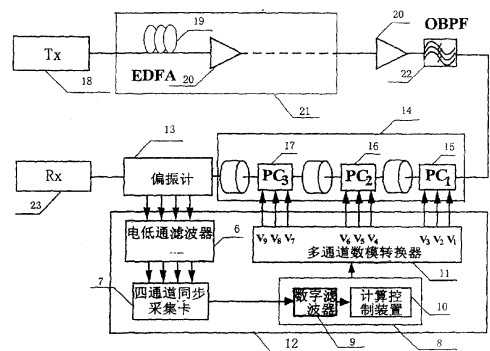
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块

[57] 摘要

本发明属于一种自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块。具有：电低通滤波器，用于滤除高频噪声，滤波器带宽要求与四通道同步采集卡采样频率匹配；四通道同步采集卡和多通道数模转换器，数字滤波器，用于将采样得到的四路数字电压信号经矩阵变换得到链路的偏振度值并经过数字中值滤波滤除噪音；计算控制装置，用控制算法进行优化调节模色散补偿器的两个电控偏振控制器的电压，使得光纤链路中光信号的偏振度达到最大，得到自适应补偿；本发明用较低的成本为偏振模色散补偿器提供反馈信号，通过搜索和跟踪控制算法，及时、快速、有效地补偿和跟踪光纤链路中随机变化的偏振模色散。



1、一种自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块,其特征在於所述的反馈控制模块具有:

电低通滤波器,用于滤除高频噪声,滤波器带宽要求与四通道同步采集卡采样频率匹配;

四通道同步采集卡,用于将偏振计输入、并通过电低通滤波器滤除高频噪声后的四路模拟电压信号转化成四路数字电压信号;

数字滤波器,用于将采样得到的四路数字电压信号经矩阵变换得到链路的偏振度值并经过数字中值滤波滤除噪音;

计算控制装置,用控制算法进行优化调节偏振模色散补偿器的两个电控偏振控制器的电压,使得光纤链路中光信号的偏振度达到最大,得到自适应补偿;

多通道数模转换器,用于将计算控制装置处理的调节偏振模色散补偿器的数字量转化为模拟电压量;

所述的反馈控制模块与偏振计和电控偏振控制器相联,接入光纤通信链路上,所述的数字滤波器采用图像平滑技术中的中值滤波,所述的控制算法由搜索和跟踪算法构成,搜索算法采用在全局范围内的局部粒子群优化算法,跟踪算法采用在局部范围内的局部粒子群优化算法。

自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块

技术领域

本发明属于一种自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块。

背景技术

当信号在单光纤传输时,光波分解成二个相互垂直的偏振分量,称为偏振模。用石英玻璃制造的通讯用光纤,由于各种原因导致光纤中圆对称性结构被破坏成椭圆芯径,产生非圆对称应力,结果使得两个相互垂直的偏振模的群速度不一致,这种现象称为偏振模色散。由于偏振模色散,在每根光纤中形成传送信号的快轴 2 和慢轴 1(如图 1 所示),使得两个相互垂直的偏振态信号到达接收端的时间不同,即产生时延差。在大于 10Gb/s 的高速光纤传输系统中,早先铺设的光纤由于偏振模色散较大,从而增大数据传输的误码率,因此必需对此进行补偿。当前的补偿技术大体分为电补偿、光电补偿和光补偿,电补偿受电速率瓶颈限制,光电补偿需要多个光电检测器,成本较高,而光补偿成本亦较高。对偏振模色散进行自适应补偿的困难在于光纤中的偏振模色散具有随机性和变化性,需要有效、快速、实时的补偿方案,因此必须在偏振模色散补偿器中加入反馈控制模块。另外在反馈搜索过程中存在许多局部极大值,一旦陷入其中,就无法对偏振模色散进行有效补偿。以往采用的基于梯度算法的搜索算法极易陷入局部极大值,而且不能抗噪声。以往的控制算法只有搜索算法,很少有跟踪算法,一旦光纤链路中的偏振模色散发生变化,又要进行全局搜索,对链路造成瞬间劣化。

发明内容

本发明的目的是提供一种自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块,用较低的成本为偏振模色散补偿器提供反馈信号,通过搜索和跟踪控制算法,及时、快速、有效地补偿和跟踪光纤链路中随机变化的偏振模色散。为此,本发明所述的反馈控制模块具有:

电低通滤波器,用于滤除高频噪声,滤波器带宽要求与四通道同步采集卡采样频率匹配。

四通道同步采集卡,用于将偏振计输入、并通过电低通滤波器滤除高频噪

声后的四路模拟电压信号转化成四路数字信号；

数字滤波器,用于将采样得到的四路数字信号经矩阵变换得到的光纤链路中的偏振度值经过数字中值滤波,滤除噪声；

计算控制装置,用控制算法进行优化调节偏振模色散补偿器的两个电控偏振控制器的控制电压,使得光纤链路中光信号的偏振度达到最大,得到自适应补偿；

多通道数模转换器,用于将计算控制装置输出的数字量转化为模拟电压量,以调节和控制偏振模色散补偿器；

所述的反馈控制模块与偏振计和补偿器中的电控偏振控制器相联,接入光纤通信链路上。

本发明的优点是能用较低的成本为偏振模色散补偿器提供反馈信号,并采用搜索和跟踪算法,使得偏振模色散补偿器动态地、有效地、实时地对光纤线路中随机变化的偏振模色散进行自适应补偿。

附图说明

图1为光纤传输中偏振模色散产生的示意图

图2为本发明的反馈控制模块的原理方框图

图3为本发明在光纤链路中使用状态结构示意图

图4为本发明所采用的跟踪算法流程图

具体实施方式

如图1所示,用石英玻璃制造的通讯用光纤3,由于各种原因导致光纤中圆对称性结构被破坏成椭圆芯径,产生非圆对称应力,结果使得两个相互垂直的偏振模的群速度不一致,这种现象称为偏振模色散。由于偏振模色散,在每根光纤中形成传送信号的快轴2和慢轴1,使得两个相互垂直的偏振态信号4到达接收端的时间不同,即产生时延差5。在大于10Gb/s的高速光纤传输系统中,原先铺设的光纤由于偏振模色散较大,从而增大数据传输的误码率,因此必需对此进行补偿。

如图2所示,一种自适应偏振模色散补偿中的反馈控制模块12具有:

电低通滤波器6,用于滤除高频噪声,滤波器带宽要求与四通道同步采集卡采样频率匹配。

四通道同步采集卡7,用于将偏振计输入、并通过电低通滤波器滤除高频

噪声后的四路模拟电压信号转化成四路数字信号；

数字滤波器 9, 用于将采样得到的四路数字信号经矩阵变换得到链路的偏振度值经过数字中值滤波, 滤除噪声；

计算控制装置 10, 用控制算法进行优化调节偏振模色散补偿器的两个电控偏振控制器的电压, 使得光纤链路中光信号的偏振度达到最大, 得到自适应补偿；

多通道数模转换器 11, 用于将计算控制装置处理的调节偏振模色散补偿器的数字量电压转化为模拟量；

所述的反馈控制模块与偏振计和偏振模色散补偿器中的电控偏振控制器相联, 接入光纤通信链路上。

所述的数字滤波器采用图像平滑技术中的中值滤波。

所述的控制算法由搜索和跟踪算法构成, 搜索算法采用在全局范围内的局部邻居结构的粒子群优化算法, 跟踪算法采用在局部范围内的全局邻居结构的粒子群优化算法。

所述的反馈控制模块的工作过程包括以下步骤：与光纤链路相连的偏振计将信号输入电低通滤波器后, 由四通道同步采集卡采样, 进入四通道数模转换器转换, 便于计算控制装置进行处理；四路数字信号输入计算控制装置中, 采样得到的数字信号经矩阵变换即得到链路中偏振度值, 在数字滤波器中经过数字中值滤波, 滤除噪声；计算控制装置根据搜索和跟踪算法, 调节偏振模色散补偿器中的偏振控制器的电压, 从而使得光纤中光信号的偏振度达到最大, 从而完成偏振模色散自动补偿。

如图 3 所示, 取样反馈控制模块 12 由电低通滤波器 6, 四通道同步采集卡 7, 数字滤波器 9 和计算控制装置 10 以及多通道数模转换器 11 构成。数字滤波器和计算控制装置可以是逻辑控制单元, 或是含有数字中值滤波程序和搜索、跟踪算法程序的计算机 8。

本发明的取样反馈控制模块信号的输入来自于接入光纤通讯链路 21 中的偏振计 13, 偏振计的输入端接入光纤链路, 其输出端为经过补偿器后的光信号进入光接收机 23, 同时从偏振计中另一端输出的四路电压信号设为 V'_1 , V'_2 , V'_3 , V'_4 , 经过电低通滤波滤除高频, 并经四通道同步数据采集卡将四路模拟电压信号转换变为四路数字信号, 再在计算机中经过矩阵变换后, 变成光信号

的斯托克斯参量 (S_0, S_1, S_2, S_3), 按光波的偏振度 (DOP) 的定义:

$$DOP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}$$

根据公式得到光信号的偏振度 (DOP), 偏振度与偏振模色散 (PMD) 有关。

本发明所使用的电低通滤波器的作用是对偏振计输出的四路模拟电压信号进行滤波, 这些噪声来源于光纤链路中的掺铒光纤放大器 20。同时, 电低通滤波器的带宽要求必须与四通道同步采集卡相匹配。如果偏振计输出模拟信号的带宽为 $0 \sim f_m$ kHz。由奈奎斯特定理可知, 只有当取样频率 f_s 和模拟信号最高频率 f_m 满足 $f_s \geq 2f_m$ 时不会出现混叠。由于高速四通道同步采集卡的价格昂贵, 因此在偏振计 13 的电压输出和四通道同步采集卡之间加入电低通滤波器, 滤掉高频, 即可低成本地解决这一问题。

本发明所使用的数字滤波器 9 主要作用是滤除数字信号的噪声。这些噪声来源于四通道同步采集卡。不进行数字滤波, 所得到的偏振度值具有噪声, 会给计算控制装置的工作造成失误。本发明采用的中值滤波, 它是用一个有奇数点的滑动窗口在采集的数据上滑动, 将窗口中心点对应的数据用窗口内的中间值代替, 这个滤波过程能用软件或硬件实现。

如图 3 所示, 光纤通信系统中由光发射机 18 发射光脉冲形成光信号。进入光纤通信链路 21 中进行远距离传输, 光纤通信链路主要包括长距离单模光纤线路 19 和多个掺铒光纤放大器 (EDFA) 20。受到光纤线路产生的偏振模色散的影响, 光信号经掺铒光纤放大器 (EDFA) 放大后, 进入光带通滤波器滤波 22, 消除掺铒光纤放大器 (EDFA) 产生的自发辐射噪声, 然后再经过偏振模色散补偿器 14 对偏振色散进行补偿。只有当偏振模色散补偿器的特性与光纤链路中产生的偏振模色散参数相匹配时, 才可以对光纤链路中的偏振模色散进行补偿。如果偏振模色散补偿器的特性与光纤链路中的偏振模色散不匹配, 会使得偏振模色散得不到有效的补偿, 甚至反而会使得偏振模色散更加严重。即便是两者相匹配的情况下, 如果偏振模色散补偿器不可调, 也只能对某一固定值的偏振模色散进行补偿。但由于实际光纤链路中偏振模色散的大小是随机变化的, 要求偏振模色散补偿器也要随着变化, 才能进行实时、动态、有效的补偿。偏振模色散补偿器由三个偏振控制器 15、16、17 构成, 每个偏振控制器共有三个可以控制的电压。偏振模色散补偿器内有 9 个可以控制的电压, 设为 V_1 ,

V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9。则只要调节偏振控制器的输入电压 V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、V9 即可改变偏振模色散补偿器的特性。一般来说, 光纤链路中的某一偏振模色散值只与相应的输入电压组 (V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、V9) 相对应时才可得补偿。每个偏振控制器的电压是在 0—10V 内可调的。取样反馈控制模块是通过偏振计 13 从光纤链路中提取偏振度 (DOP) 作为偏振模色散 (PMD) 监控信号, 由于偏振度 (DOP) 反映了光纤中光脉冲的偏振模色散的大小, 一般来说光信号的偏振度值越大, 偏振模色散就越小, 因此偏振模色散补偿的标准是, 只有当检测到光信号的偏振度值为最佳时, 偏振模色散才得到补偿, 这时偏振控制器的输入电压组为最佳匹配参数。具体实现匹配过程是: 在得到光信号的偏振度以后, 通过数字滤波器进行滤波, 然后利用计算控制装置中的控制算法 (包括搜索算法和跟踪算法) 进行优化调节偏振控制器 14 的电压 (V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、V9), 使得偏振度达到最大, 这样就对光纤链路中偏振模色散进行了补偿。当线路中的偏振模色散发生变化时, 只要改变电压 (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9) 使光信号的偏振度达到最大, 就可动态地补偿系统的偏振模色散。

如图 4 所示, 在补偿开始时, 计算控制装置 10 启动搜索算法 24, 通过调节偏振模色散补偿器中的偏振控制器的电压组 (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9), 使得 DOP (偏振度) 值最大时, PMD (偏振模色散) 就得到补偿, 这时进入步骤 25 记录此时的电压值的位置为 (X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9), 并将此时的最大 DOP 值设为最佳值, 记为 bestDOP。找到最佳值后则运行步骤 26 即进入了跟踪算法, 过程如下: 按照步骤 26, 偏振计不断检测光纤链路中的 DOP 值, 进入步骤 27 将光纤链路中的 DOP 值与 bestDOP 进行比较判断, 如果当前的 DOP 值大于 bestDOP 的 98%, 则不调整偏振控制器, 如果当前的 DOP 少于 bestDOP 的 98%, 则表示此时光纤链路中的 PMD 已经发生了改变, 这时需要重新调整偏振控制器 15, 16, 17 的电压, 使得所偏振计 13 检测到的 DOP 值大于 bestDOP 的 98%。与搜索算法不同的是, 这时电压的变化只是在小范围内变动, 因为光纤链路中的 PMD 也是小范围内变化的。如果当光纤链路中的 PMD 变化太大, 这时需要重新回到步骤 24, 运行搜索算法在偏振控制器的可变化的电压范围内进行全局搜索。所以通过搜索算法和跟踪算法有效地动态补偿光纤链路中变化的 PMD。

本发明所使用的控制算法包括搜索算法和跟踪算法。本发明所使用的搜索算法 24 称为粒子群优化 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法, 简称为 PSO。粒子群优化 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法是一种直接搜索算法, PSO 初始化为一群随机粒子, 然后通过叠代找到最优解。在每一次叠代中, 粒子通过跟踪两个“极值”来更新自己: 第一个就是粒子本身找到的最优解, 这个解成为个体极值; 另一个是整个种群目前找到的最优解, 这个极值是全局极值, 所对应的就是 GPSO (Global Version of PSO) 算法, 另外也可以不用整个种群而只是用其中部分粒子作为邻居, 那么在所有邻居中的极值就是局部极值, 所对应的就是 LPSO (Local Version of PSO) 算法。粒子群优化算法有控制自由度多、搜索速度快、不易陷入局部极大值、抗噪声等特点。本发明的搜索算法可选择 GPSO 或 LPSO。

本发明采用搜索算法是在补偿开始时通过由计算机发出指令, 运行图 4 所示的步骤 24, 并通过计算机不断改变偏振控制器的电压, 可调整的电压的为九路 (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9) 这九路电压在计算机内是数字信号来表示的。然后通过多通道数模转换器 11 转化为九路模拟电压信号即 (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9) 调整偏振控制器 15、16、17。当九路电压处于不同的值时, 偏振计所检测得到的 DOP 是不同的, 只有检测到最大 DOP 值时, 偏振模色散 (PMD) 就得到了补偿。如图 4 的步骤 25, 这时将检测到的最大值存于计算机中的一个变量里, 比如说取名为 BestDOP 的变量, 同时将对应的电压信号也分别存于计算机中的变量中, 比如说取名为 X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9 的九个变量中, 这九个数字信号通过多通道数模转换器转化为模拟电压信号 (V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9)。这里所说的变量是指存储器中的某一存储单元。

实际光纤通信系统中, 由于温度变化、地壳运动或者是火车汽车压过大地所引起的振动, 铺设在自然环境中的光缆形变引起光纤链路中的 PMD 随时随机变化。所以, 只有搜索算法搜到最佳补偿点是远远不够的, 还需要有能够实时补偿偏振模色散 (PMD) 慢变和突变的跟踪算法。

当搜索算法搜索到最大 DOP 后, 并将此时的 DOP 值存于变量 BestDOP 中, 相应的电压值存于变量 X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9 中。由于如上所述的原因, 实际光纤链路中 PMD 是随时发生变化的, 而且变化是随机的,

因此控制计算机要完成搜索算法后必须随时启动跟踪算法。本发明所采用的跟踪算法，如图4所示，按照步骤27，控制计算机不断地通过偏振计检测光纤链路中的DOP值，并存于计算机的变量中，例如存于变量名为NowDOP中，启动如图4所示的步骤29，将NowDOP与先前检测的最大值进行比较，若满足 $\text{NowDOP} > \text{BestDOP}98\%$ ，即如果检测得到的DOP值大于最佳值的百分之九十八，则表明光纤链路中的PMD不需要补偿，若不满足此条件，则说明光纤链路的PMD发生了变化，需要进行补偿，此时启用步骤28，跟踪最佳值，跟踪过程是使偏振控制器电压作很小的改变，并将所检测到的光纤链路中的DOP值存于变量中，例如取名为TrackDOP的变量中，然后启动如图4中的步骤29，将TrackDOP与前述所记录的最佳值BestDOP进行比较，如满足 $\text{TrackDOP} > \text{BestDOP}86\%$ ，则表明跟踪成功，然后程序返回到如图4所示的步骤26，继续步骤27，28，若不满足 $\text{TrackDOP} > \text{BDOP}86\%$ ，则表示跟踪失败，要返回到步骤24，重新启动搜索算法，进行搜索补偿。

总之，本发明能用较低的成本为偏振模色散补偿器提供反馈信号，并采用搜索和跟踪算法，使得偏振模色散补偿器动态地、有效地、实时地对光纤线路中随机变化的偏振模色散得到自适应补偿。且抗噪音能力好，收敛速度快，补偿效果好，从而大大降低数据传输的误码率，提高数据传输的准确率。

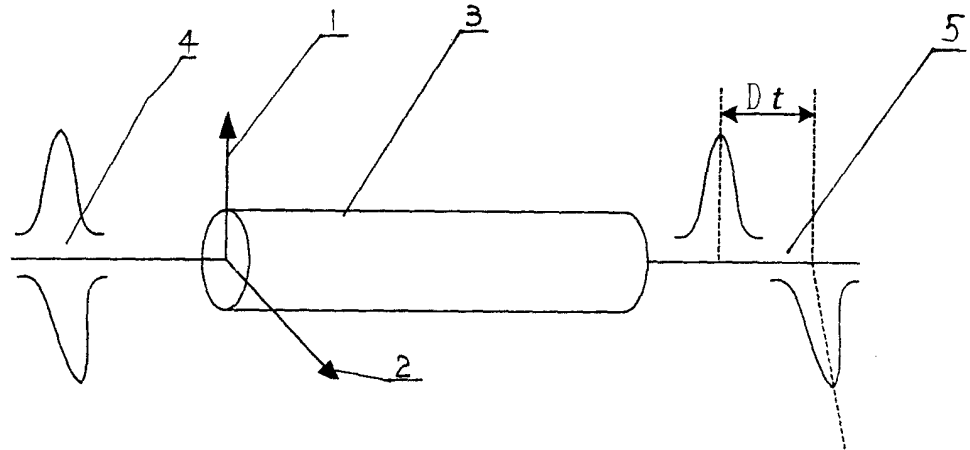


图 1

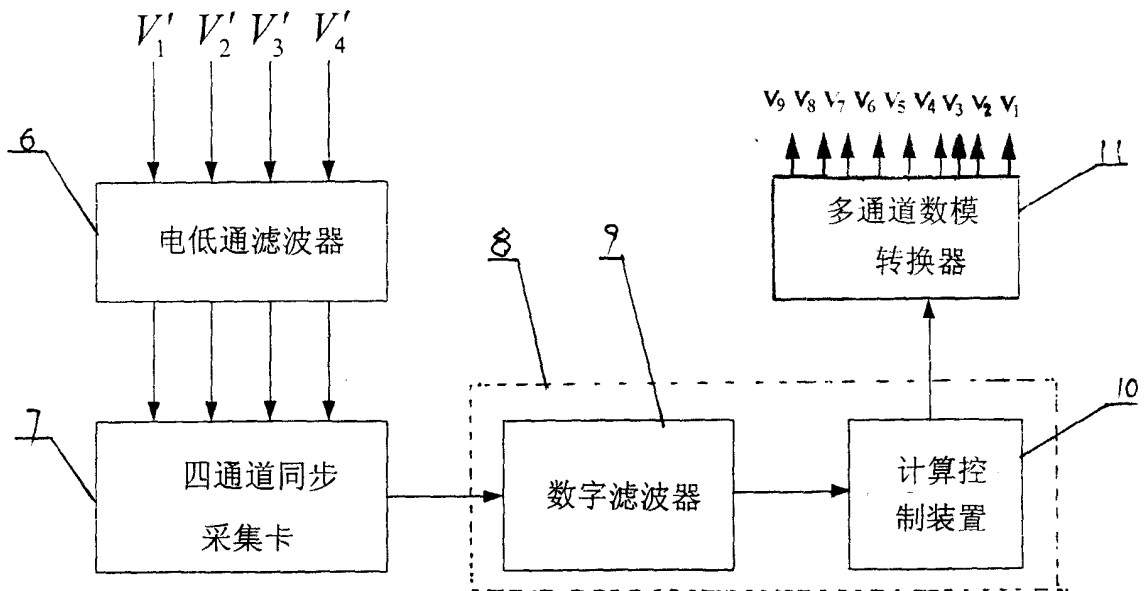


图 2

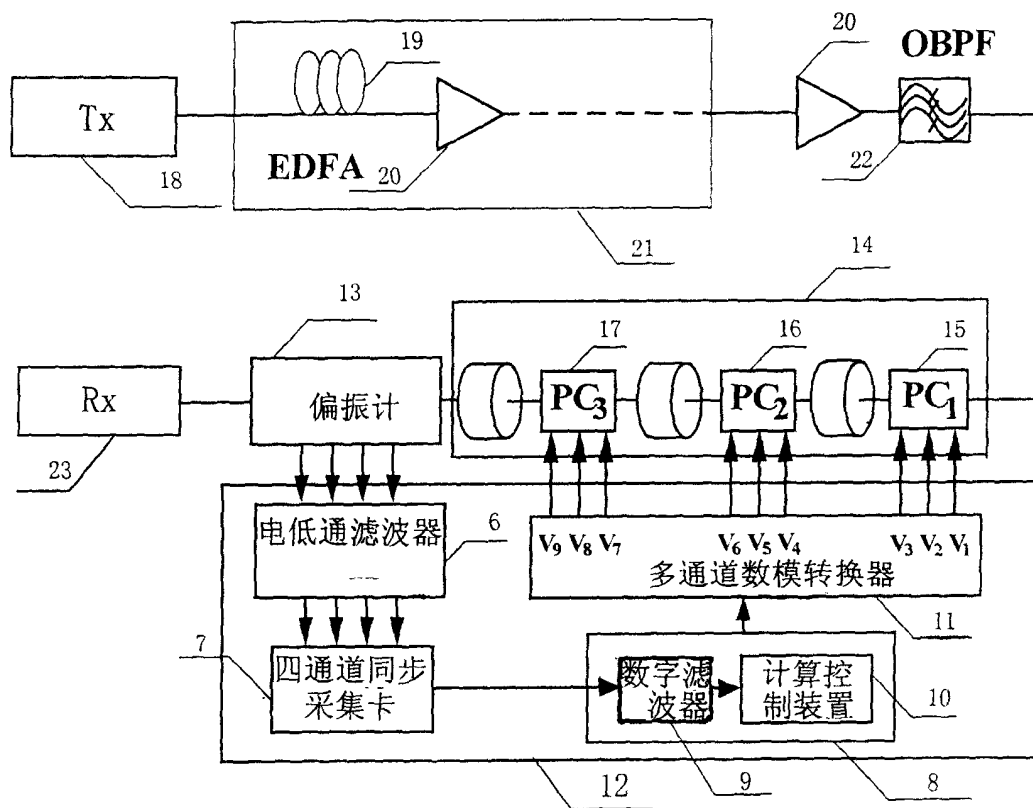


图 3

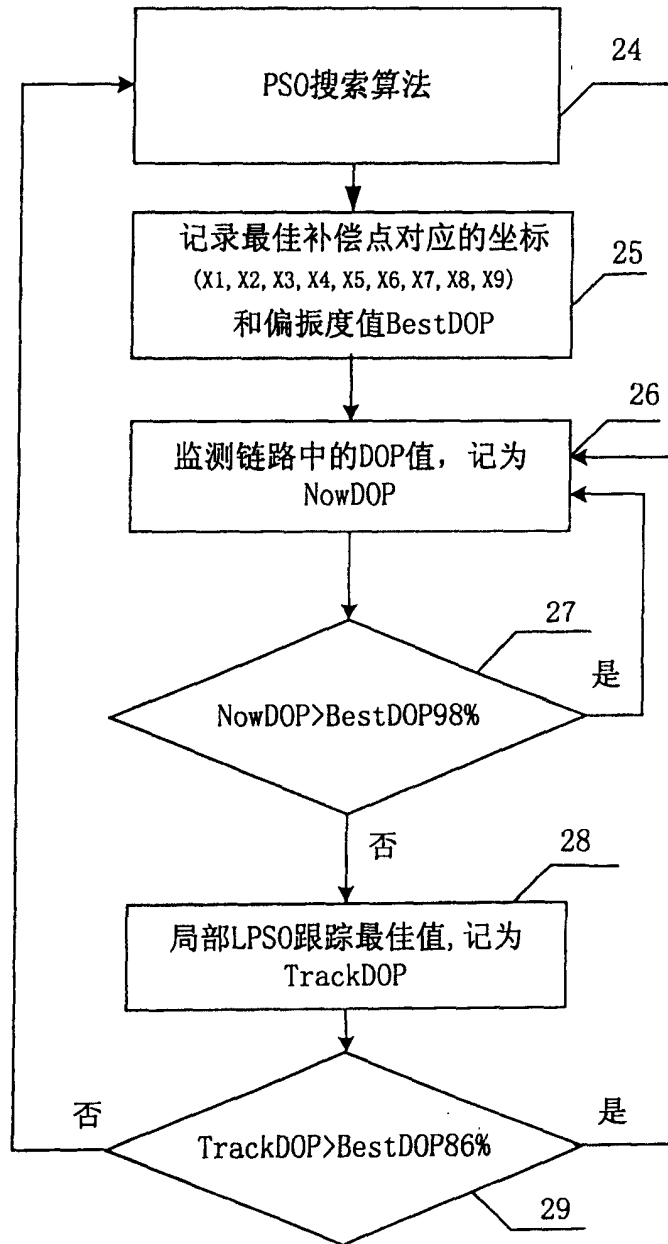


图 4