



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102761363 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 31

(21) 申请号 201110106502. 9

(22) 申请日 2011. 04. 27

(71) 申请人 华为海洋网络有限公司  
地址 300457 天津市东丽区经济技术开发区  
第三大街金融街 W3C 栋 5-6 层

(72) 发明人 胡颖新 王光军 晁代振

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018  
代理人 牛峥 王丽琴

(51) Int. Cl.  
H04B 10/08 (2006. 01)

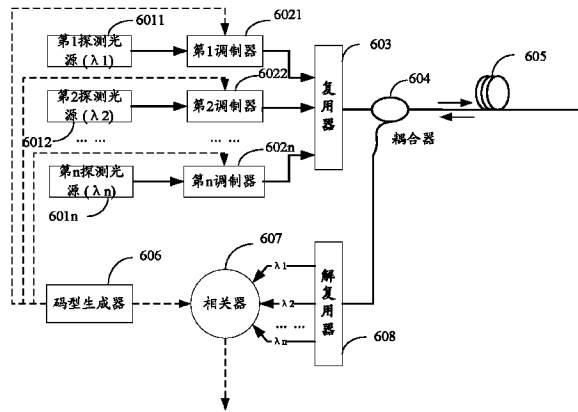
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种光时域反射仪信号检测方法及装置

(57) 摘要

本发明提供了一种光时域反射仪信号检测方法,包括如下步骤:n 路波长不同的探测光源发出的探测光分别在相关码型序列的控制下,调制成 n 路脉冲光;n 为大于或等于 2 的自然数;将所述 n 路脉冲光合路,输出探测光信号至被测光纤;接收来自被测光纤的背向散射光信号,并将所述背向散射光信号按照波长分成 n 路光信号;根据相关码型序列对所述 n 路光信号进行相关处理,输出相关光时域反射仪信号。本发明还提供了一种光时域反射仪信号检测装置。本发明方案可以并行发送多组脉冲序列并同时处理多组信号,提高相关处理效率。



1. 一种光时域反射仪信号检测装置,其特征在于,该检测装置包括: $n$ 个波长不同的探测光源及 $n$ 个调制器、复用器、耦合器、解复用器、相关器和码型生成器; $n$ 为大于或等于2的自然数;

所述码型生成器用于生成相关码型序列,将所述相关码型序列分别输入所述 $n$ 个调制器以及相关器;

所述每一个调制器用于将对应的探测光源发出的探测光调制成脉冲光;

所述复用器用于将所述 $n$ 个调制器发出的 $n$ 路脉冲光合路,输出探测光信号;

所述耦合器用于将所述复用器输出的探测光信号进行方向耦合后发送到被测光纤上;以及接收来自被测光纤的背向散射光信号,并将所述背向散射光信号发送到解复用器;

所述解复用器用于将来自耦合器的背向散射光信号按照波长分成 $n$ 路光信号;

所述相关器用于根据来自码型生成器的相关码型序列,将解复用器输出的 $n$ 路光信号进行相关处理,输出相关光时域反射仪信号。

2. 根据权利要求1所述的检测装置,其特征在于,每一路调制器收到的相关码型序列为互补码。

3. 根据权利要求1所述的检测装置,其特征在于,每一路调制器收到的相关码型序列为非互补码;

该检测装置进一步包括:补充光源,用于发出补充光;

所述复用器将所述补充光与 $n$ 个调制器发出的 $n$ 路脉冲光合路,输出功率恒定的探测光信号。

4. 根据权利要求2所述的检测装置,其特征在于,所述相关码型序列为单极性格雷码,所述 $n = 4$ 。

5. 根据权利要求4所述的检测装置,其特征在于,所述相关器包括4个光电转换器、4个数模转换器、2个减法器、2个滤波器和1个加法器;

第 $i$ 光电转换器用于将解复用器输出的第 $i$ 路光信号转换为第 $i$ 电信号,第 $i$ 数模转换器用于将所述第 $i$ 电信号转换为第 $i$ 数字电信号; $i = 1, 2, 3$ 或 $4$ ;

第一减法器的两个输入端分别用于接收第1数字电信号和第2数字电信号,输出端连接第一滤波器;

第二减法器的两个输入端分别用于接收第3数字电信号和第4数字电信号,输出端连接第二滤波器;

所述第一滤波器和第二滤波器的输出端分别连接所述加法器的输入端。

6. 一种光时域反射仪信号检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

$n$ 路波长不同的探测光源发出的探测光分别在相关码型序列的控制下,调制成 $n$ 路脉冲光; $n$ 为大于或等于2的自然数;

将所述 $n$ 路脉冲光合路,输出探测光信号至被测光纤;

接收来自被测光纤的背向散射光信号,并将所述背向散射光信号按照波长分成 $n$ 路光信号;

根据相关码型序列对所述 $n$ 路光信号进行相关处理,输出相关光时域反射仪信号。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,用于调制每一路探测光的相关码型序列为互补码。

8. 根据权利要求 6 所述的方法,其特征在于,用于调制每一路探测光的相关码型序列为非互补码,所述将所述  $n$  路脉冲光合路包括:

将所述  $n$  路脉冲光以及补充光源发出的补充光合路,得到功率恒定的探测光信号。

9. 根据权利要求 7 所述的检测装置,其特征在于,所述相关码型序列为单极性格雷码,所述  $n = 4$ 。

## 一种光时域反射仪信号检测方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光通信技术领域,尤其涉及一种光时域反射仪 (Co-relation Optical Time-Domain Reflectometry) 信号检测方法及装置。

### 背景技术

[0002] 光时域反射仪 (OTDR, Optical Time-Domain Reflectometry) 根据光的背向散射与反射原理制作,利用光在光纤中传播时产生的背向散射光来获取衰减的信息,可用于测量光纤衰减、接头损耗、光纤故障点定位以及了解光纤沿长度的损耗分布情况等。由于光纤材料密度不均匀、掺杂成分不均匀以及光纤本身的缺陷,当光在光纤中传输时,沿光纤长度上的每一点均会引起散射。光时域反射仪记录下每个时间点采集到的散射光强度。因为光速是固定的,采集信号的时间与光在光纤中传输距离具有对应关系,因此可以将时间转换为光纤的长度。如图 1 所示为 OTDR 探测信号曲线的典型表现形式,横坐标表示光纤长度 (单位为 km),纵坐标为散射光信号的相对强度 (单位为 dB)。可以看出,该曲线 100 随着光纤长度的增加高度在逐渐降低,但其变化趋势是很平缓的,104 表示这种由于光纤长度的不同导致的两点间 OTDR 探测信号强度的变化。曲线 100 在熔接点 (Splice) 101、光纤接续盒 (Connection) 102、断裂点 (break) 或光纤终点 (End of fiber) 103 处出现显著变化,这表示光在这些地方会发生反射或散射,散射光及反射光有一部分可背向传输回到光时域反射仪。。所述在图 1 曲线中的显著变化区域 (105、106、107) 称之为反射事件及衰减事件。从所接收的光的强弱变化,可以判断光纤各个位置的传输特性。

[0003] 传统的 OTDR 测量原理:将宽度可控的脉冲光信号耦合进光纤中,脉冲光在光纤中传输的过程,伴随着散射的发生,与脉冲传输方向相反的部分散射信号最终回到 OTDR 处。OTDR 通过耦合器将信号接收,并做模数转换转化为数字信号。该数字信号转化为以光纤长度 (单位为 km) 为横坐标,相对强度 (单位为 dB) 为纵坐标的曲线,该曲线是一条从光纤始端起,随着光纤长度增加逐渐衰减的直线。但由于光纤中存在熔接、断裂现象,在这些位置的产生了额外的损耗和反射,它的表现形式就如图 1 中反射事件、衰减事件。OTDR 测量就是依靠这条带有反射和衰减事件的曲线 100,来分析光纤链路的状态。如果某些位置反射过强、损耗过大说明有异常,而曲线的横轴是光纤长度,所以可以推算出这些反射、衰减事件的位置。

[0004] OTDR 测量的是光的散射信号。光的散射信号与探测脉冲光的峰值功率、脉冲宽度有关系,且随着传输距离增大而减小。这种光的散射信号的强度是很弱的,很容易湮没在噪声中,这就限制了 OTDR 探测距离,该探测距离与指标“动态范围”对应。“动态范围”用于表征 OTDR 探测的最大距离。一种对“动态范围”常见的定义是取初始端后向散射电平与噪声峰值电平间的 dB 差。常见的提高动态范围的方法有:增加平均次数、加大探测脉冲宽度和采用数字滤波技术。

[0005] 为了获得更好的信噪比 (也就是提高动态范围及延长可探测距离),通常采用多次累加技术 (也叫平均)。多次累加技术的实现过程如下:OTDR 控制激光器发送一个脉冲

信号进入光纤,脉冲信号在光纤传输过程中不断产生背向散射信号,并随耦合器返回 OTDR。OTDR 从发送脉冲的时刻起就不断地接收背向散射信号。OTDR 对所接收的背向散射信号做光电转换、信号放大、模数转换并存储,这一过程一般情况下持续到探测的脉冲信号在光纤末端时产生的散射信号回到 OTDR 仪表中时截止,也就是探测脉冲在整个光纤中传输时间的两倍(背向散射信号还有一个返回传输的过程,因此是前向传输用时的两倍)。这一过程称之为一次 OTDR 采样。重复这一过程,将多次采样得到的数据进行累加平均,可以抑制白噪声,提高 OTDR 信号的信噪比。图 2a 为平均次数较小时的 OTDR 测量结果,图 2b 为平均次数较大时的 OTDR 测量结果。这两幅图的横坐标表示光纤长度(单位为 km),纵坐标为采样数据的相对强度(单位为 dB)。图 2a 和图 2b 的对比可以看出,图 2a 和图 2b 中剧烈变化的区域出现的位置基本相同,但是图 2b 中剧烈变化的区域与其他部分的差距更为明显,这说明动态范围在平均次数增加后有所提升。

[0006] 图 3 是 OTDR 原理结构方框图。脉冲发生器 303 发出宽度可调的窄脉冲驱动激光器 301,激光器 301 产生所需宽度的脉冲光。图 3 中激光器 301 至耦合器 302 箭头上方的图形为该脉冲光的波形示意。该脉冲光经耦合器 302 进行方向耦合后入射到被测光纤 308,光纤 308 中的背向散射光和菲涅尔反射光经耦合器 302 进入光电探测器 305,光电探测器 305 把接收到的散射光和反射光信号转换成电信号,由放大器 306 放大后送信号处理部件 307 处理(包括采样单元、模数转换单元和平均单元),处理后的结果由显示单元 309 显示:纵轴表示功率电平,横轴表示距离。时基与控制单元 304 控制脉冲发生器 303 发出宽度可调的窄脉冲的宽度,以及控制信号处理部件 307 中采样单元的采样以及平均单元的平均。

[0007] 海缆监控设备是对海缆进行日常维护和故障定位的一种设备,它也采用了 OTDR 技术。海缆监控设备向海缆中发送探测光,利用接收到的探测光的背向瑞利散射信号来检测水下海缆和中继器等水下设备的工作状态。在不同场景下,海缆系统对探测光功率和信号脉宽都有特定的取值范围限制;为了获取有效的监控精度,信号脉宽也必须限制在一定的范围内。因此,如何在探测信号功率和脉宽受限的情况下,获取更大的动态范围和更高的监控精度,是海缆监控设备需要解决的难题。

[0008] 由于海缆系统是带有多个中继器的级联系统,它具有上行和下行两个方向的光纤传输和中继放大系统。海缆系统的每个中继器都具有环回的功能,保证探测脉冲产生的背向散射信号能够耦合到反向传输线路中,并送回到海缆监控设备。海缆系统的 OTDR 信号表现形式如图 4 所示,横坐标为海缆的长度,纵坐标为 OTDR 信号的相对强度。其中每一个峰值位置都对应一个中继器及放大器。该 OTDR 信号的最大探测距离为 600km,因此距离 600km 的信号表现为噪声。

[0009] 以上所述 OTDR 利用单脉冲探测光进行检测。如果 OTDR 将单脉冲探测光扩展为脉冲序列探测光,进一步利用脉冲序列之间的相关性,则将其称之为相关 OTDR(Co-relation OTDR)。相关 OTDR 通过发送脉冲序列探测光,并对接收的散射信号进行相关运算,这种相关处理可以有效提高接收信号的信噪比。通过发送脉冲序列方式可以在探测脉冲光序列中单个脉冲足够窄的情况下提升信噪比,有效解决光纤事件分辨率和动态范围的矛盾,提高探测性能。

[0010] 图 5 所示为现有技术中的相关 OTDR 的原理结构框图,其中,模块之间的实线箭头表示光信号,模块间的虚线箭头表示电信号。码型生成器 505 用于生成脉冲序列(码型生成

器 505 至相关处理单元 507 箭头上方的图形为其波形示意图), 所述脉冲序列发送至调制器 502, 将激光器 501 发出的激光调制成脉冲序列探测光 (调制器 502 至耦合器 503 箭头上方的图形为其波形示意图), 该脉冲序列探测光经耦合器 503 进行方向耦合后入射光纤 504。耦合器 503 采集的反射光和散射光信号, 由光电探测单元 506 转换为电信号, 再经过相关处理单元 507 进行处理后, 输出至显示设备 (未在图 5 中示出) 显示分析结果 (相关处理单元 507 右方的箭头上方的图形为其波形示意图)。

[0011] 相关 OTDR 与前文所述的传统 OTDR 测量原理最大的不同在于, 这种技术在“每次采样过程”中发送的不是一个脉冲, 而是脉冲序列。这种脉冲序列是为了用于相关计算而设计的, 目前最流行的相关码型是格雷码, 它由四组码构成, 这些格雷码在数字上表示就是一串由 0 和 1 构成的码串。激光器发送的信号为连续光, 在码型生成器的控制下, 调制器将连续光调制成某组格雷码序列的形式, 这组格雷码经耦合器进入光纤传输, 接收采样过程一直持续到这组码完全传出光纤末端, 且其背向散射信号已经完全返回 OTDR 仪表, 这样就完成了“一组格雷码”的“一次采样过程”。通常四组格雷码要顺序经过这一过程进行采样, 最终获得四组采样数据。这四组采样数据与码型生成器生成的数字格雷码分别进行相关计算、数据重组, 仍然能够还原为传统 OTDR 发送单脉冲得到的背向散射信号形式, 不同的是数字相关处理具备抑制噪声、提高信噪比的能力, OTDR 信号得到了改善。

[0012] 现有相关 OTDR 技术的缺点是运算量大, 难于实现实时处理。如前文所述, 四组格雷码需要依次发码, 接收存储, 直到四组码的探测信号全部接收完毕才进行相关运算, 还原为 OTDR 信号。在海缆系统中通常线路总长非常长 (某些线路可达 12000km), 需要处理的数据量也非常庞大, 尤其, 某些相关码型需要发送码组达上百个, 海缆监控设备在这种情况下, 很难做到实时处理、实时显示水下线路状态。

## 发明内容

[0013] 本发明提供了一种光时域反射仪信号检测方法及装置, 可以并行发送多组脉冲序列并同时处理多组信号, 提高相关处理效率。

[0014] 本发明实施例提出的一种光时域反射仪信号检测装置包括:  $n$  个波长不同的探测光源及  $n$  个调制器、复用器、耦合器、解复用器、相关器和码型生成器;  $n$  为大于或等于 2 的自然数;

[0015] 所述码型生成器用于生成相关码型序列, 将所述相关码型序列分别输入所述  $n$  个调制器以及相关器;

[0016] 所述每一个调制器用于将对应的探测光源发出的探测光调制成脉冲光;

[0017] 所述复用器用于将所述  $n$  个调制器发出的  $n$  路脉冲光合路, 输出探测光信号;

[0018] 所述耦合器用于将所述复用器输出的探测光信号进行方向耦合后发送到被测光纤上; 以及接收来自被测光纤的背向散射光信号, 并将所述背向散射光信号发送到解复用器;

[0019] 所述解复用器用于将来自耦合器的背向散射光信号按照波长分成  $n$  路光信号;

[0020] 所述相关器用于根据来自码型生成器的相关码型序列, 将解复用器输出的  $n$  路光信号进行相关处理, 输出相关光时域反射仪信号。

[0021] 本发明实施例还提出一种光时域反射仪信号检测方法, 包括如下步骤:

[0022] n 路波长不同的探测光源发出的探测光分别在相关码型序列的控制下,调制成 n 路脉冲光;n 为大于或等于 2 的自然数;

[0023] 将所述 n 路脉冲光合路,输出探测光信号至被测光纤;

[0024] 接收来自被测光纤的背向散射光信号,并将所述背向散射光信号按照波长分成 n 路光信号;

[0025] 根据相关码型序列对所述 n 路光信号进行相关处理,输出相关光时域反射仪信号。

[0026] 从以上技术方案可以看出,波长不同的 n 路脉冲光输出至被测光纤,则背向散射光信号可以按照波长分成 n 路背向散射信号,这 n 路背向散射信号之间进行相关处理,这就实现了同时并行发送多组脉冲序列并同时处理多组信号的目的。本发明方案可以极大提高相关处理效率,达到实时 OTDR 检测的技术效果。

### 附图说明

[0027] 图 1 为光时域反射仪探测信号曲线的典型表现形式示意图;

[0028] 图 2a 为平均次数较小时的 OTDR 测量结果示意图;

[0029] 图 2b 为平均次数较大时的 OTDR 测量结果示意图;

[0030] 图 3 为现有技术中的 OTDR 原理结构方框图;

[0031] 图 4 为海缆系统的 OTDR 信号表现形式示意图;

[0032] 图 5 为现有技术中的相关 OTDR 的原理结构框图;

[0033] 图 6 为本发明实施例提出的高效的相关 OTDR 检测装置框图;

[0034] 图 7 为图 6 所示相关器 607 的原理图。

### 具体实施方式

[0035] 本发明实施例提出的高效的相关 OTDR 检测装置如图 6 所示。该相关 OTDR 检测装置相对于现有技术,最大的不同是采用两路以上的探测光源,如图 6 中示出的第 1 探测光源 6011、第 2 探测光源 6012,……直到第 n 探测光源 601n,这 n 路探测光源的波长互不相同,分别为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ …… $\lambda_n$ 。每一路探测光源分别由对应的调制器进行调制。码型生成器 606 用于生成每一个调制器所需的相关码型序列,并将所述相关码型序列分别输入相应的调制器。调制器根据输入的相关码型序列将对应的探测光源发出的探测光调制成脉冲光。其中每一路调制器收到的相关码型序列为互补码。这 n 路调制器输出的功率互补的脉冲光,由复用器 603 进行合路形成功率恒定的光信号,通过耦合器 604 进行方向耦合后,发送到被测光纤 605 上。耦合器 604 还用于收集光纤 605 中的背向散射光信号,通过解复用器 608 解复用为 n 路波长不同的光信号(波长分别为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ …… $\lambda_n$ ),再由相关器 607 对这 n 路接收信号与来自码型生成器 606 的码型序列进行相关处理,复原出 OTDR 信号。

[0036] 以下以码型生成器 606 生成单极性格雷码为例,对本发明方案进行进一步详细说明。

[0037] 关于格雷相关计算的过程简单描述如下:

[0038] 双极性格雷码(由 -1 和 +1 组成,长度可调,通常为 64 码、128 码)包括两组:Ga 和 Gb;

[0039] 单极性格雷码（由 0 和 1 组成，因为光信号没有负信号）由双极性格雷码衍生而成，包括四组：

$$[0040] \quad Ka1 = (1+Ga)/2 ;$$

$$[0041] \quad Ka2 = (1-Ga)/2 ;$$

$$[0042] \quad Kb1 = (1+Gb)/2$$

$$[0043] \quad Kb2 = (1-Gb)/2$$

[0044] 因为单极性格雷码需要发送四组码，所以，需要采用四个波长的探测光源，波长分别为  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  和  $\lambda_4$ 。码型生成器 606 控制调制器将四个探测光源发出的探测光调制成四组单极性格雷码 ( $Ka1, Ka2, Kb1, Kb2$ )，根据格雷码是互补码这一特性可知，这四组码经过复用器合路后能够保证总光功率为恒定。通过解复用器，可以得到各个波长的探测光对应的散射反射光信号，与这四组单极性格雷码 ( $Ka1, Ka2, Kb1, Kb2$ ) 对应的散射反射光信号的采样数据集分别为 ( $Ra1, Ra2, Rb1, Rb2$ )。由于光纤长度、模数转换的采样速率不同，这四组采样数据集包括的数据点的数目也不同，每两个数据点之间的间隔所代表的传输距离可以由光速和采样速率来计算。

[0045] 相关器可以对四路散射反射光信号的采样数据集做并行相关运算。接收信号的相关处理过程如下：

[0046] 将所述四组采样数据集分为两对 ( $Ra1, Ra2$ ) 与 ( $Rb1, Rb2$ )，每对进行减法运算，得到  $Ra$  和  $Rb$ ：

$$[0047] \quad Ra = Ra1 - Ra2 ;$$

$$[0048] \quad Rb = Rb1 - Rb2 ;$$

[0049] 接着对  $Ra$  和  $Rb$  分别与信号  $Ga$  和  $Gb$  进行相关运算，得到信号  $Rsa$  和  $Rsb$ ：

$$[0050] \quad \begin{aligned} Rsa &= Ra \otimes Ga \\ Rsb &= Rb \otimes Gb \end{aligned} \text{, 其中, 符号 } \otimes \text{ 代表数学上的“相关运算”；}$$

[0051] 将信号  $Rsa$  和  $Rsb$  相加，得到  $Rs$ ：

$$[0052] \quad Rs = Rsa + Rsb ;$$

[0053]  $Rs$  再经过一些辅助处理就恢复为 OTDR 信号。

[0054] 以上描述的变量  $Ga, Gb, Kai, Kbi, Rai, Ra, Rsa, Rsb, Rs$  ( $i = 1$  或  $2$ ) 均为向量。

[0055] 相关器 607 的原理图如图 7 所示：四路光信号分别通过光电转换器转换为电信号，再由模数转换器 (ADC) 转换为数字电信号。其中第一路数字电信号 ( $Ra1$ ) 和第二路数字电信号 ( $Ra2$ ) 经第一减法器 703 处理，再由第一滤波器 705 进行滤波得到信号  $Rsa$ ；第三路数字电信号 ( $Rb1$ ) 和第四路数字电信号 ( $Rb2$ ) 经第二减法器 704 处理，再由第二滤波器 706 进行滤波得到信号  $Rsb$ ；信号  $Rsa$  和信号  $Rsb$  输入加法器 707 得到信号  $Rs$ 。信号  $Rs$  再经过一些辅助处理得到 OTDR 信号。

[0056] 本发明实施例方案中，相关器 607 能够完成格雷码的相关过程，可以对每一时刻采集的数据实时做相关处理。其中第一滤波器 705 和第二滤波器 706 是根据双极性格雷码  $Ga$  和  $Gb$  设计的数字滤波器，通过第一滤波器 705 的数据相当于与格雷码  $Ga$  做相关计算，第一滤波器 705 的输出信号为相关运算得到的相关系数；同理，通过第二滤波器 706 的数据相当于与格雷码  $Gb$  做相关运算。整个处理过程不需要预存储几组采样数据，能够实时进行运算，最终输出复原的 OTDR 信号。



[0057] 因为海缆系统中的光放大器和水下线路中继器中的光放大器只能接受恒定功率的光输入,所以,当码型生成器 606 采用其他非互补形式的码型时,为使 OTDR 检测装置能够适用于对海缆系统进行检测,需要在该 OTDR 检测装置中增加补充光源,将补充光源发出的补充光与 n 路探测光合路后输入被测光纤,以保证输入到被测光纤的总功率恒定。

[0058] 以上仅以码型生成器 606 生成单极性格雷码为例,对本发明方案进行说明。本领域技术人员在上述实施例的启发下,可以将单极性格雷码替换为其他具有相关性的码型序列。所述码型序列如果是互补码,则无需补充光源。

[0059] 本发明实施例还提出一种光时域反射仪信号检测方法,包括如下步骤:

[0060] A、n 路波长不同的探测光源发出的探测光分别在相关码型序列的控制下,调制成 n 路脉冲光;n 为大于或等于 2 的自然数;

[0061] B、将所述 n 路脉冲光合路,输出探测光信号至被测光纤;

[0062] C、接收来自被测光纤的背向散射光信号,并将所述背向散射光信号按照波长分成 n 路光信号;

[0063] D、根据相关码型序列对所述 n 路光信号进行相关处理,输出相关光时域反射仪信号。

[0064] 较佳地,用于调制每一路探测光的相关码型序列为互补码。在这种情况下,输出至被测光纤的探测光信号是功率恒定的。

[0065] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明保护的范围之内。

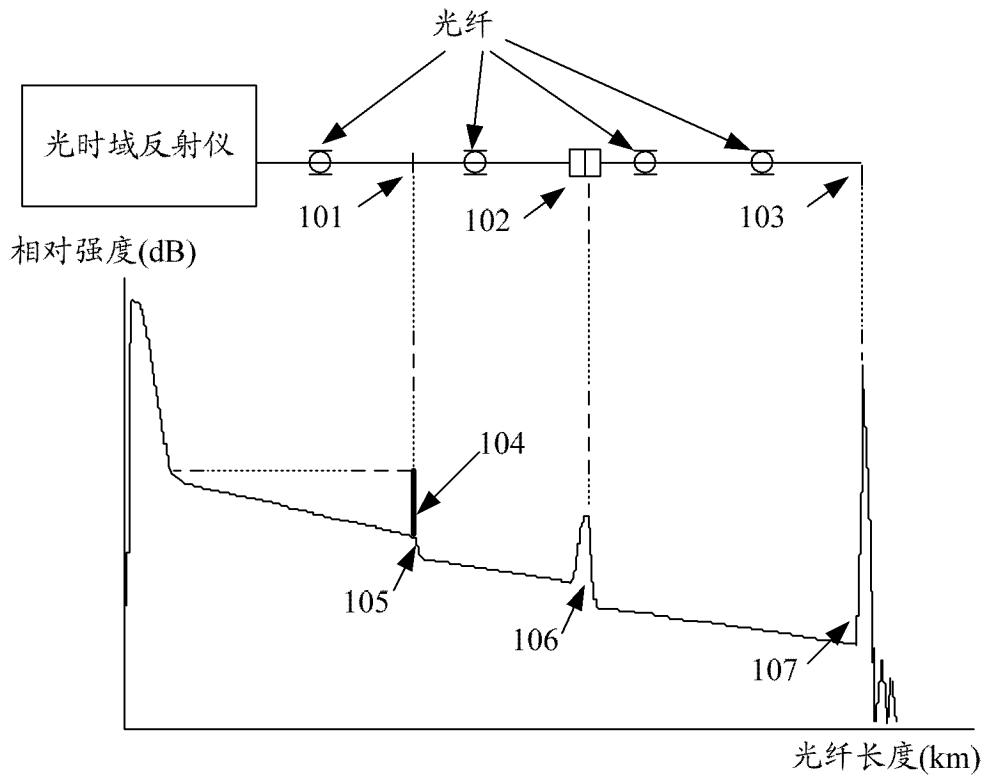


图 1

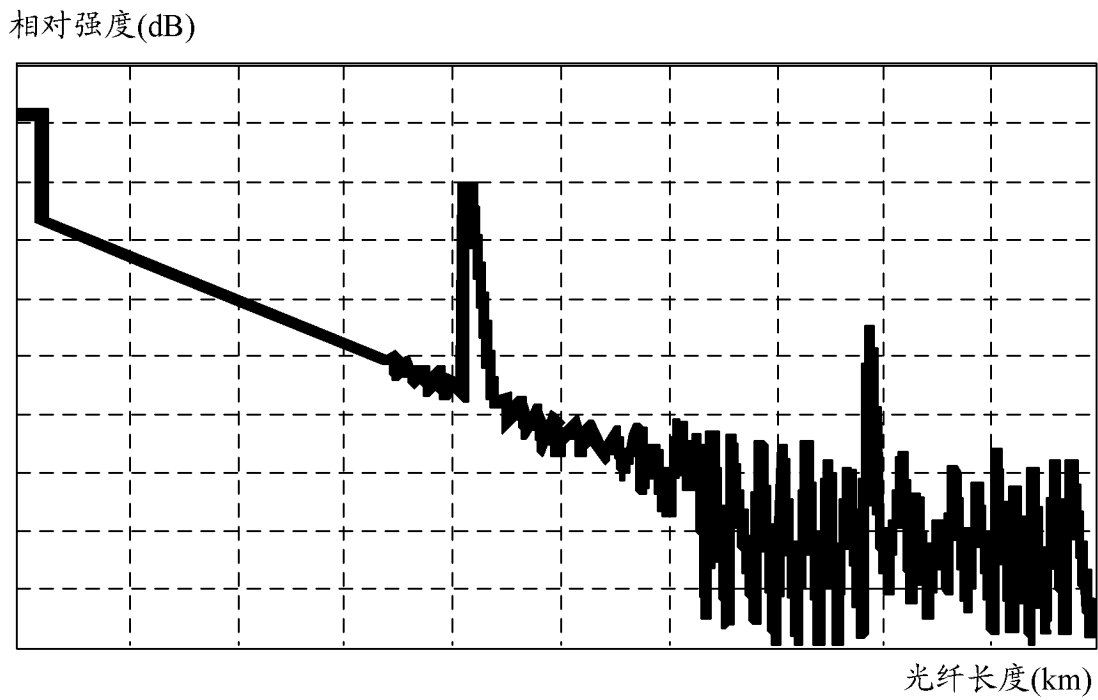


图 2a

相对强度(dB)

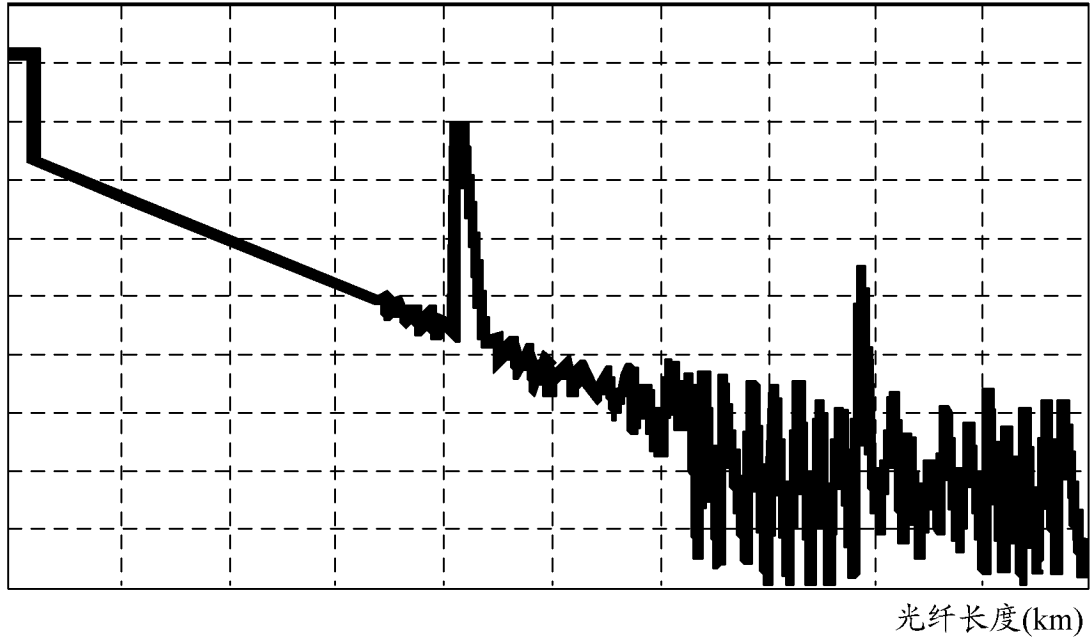


图 2b

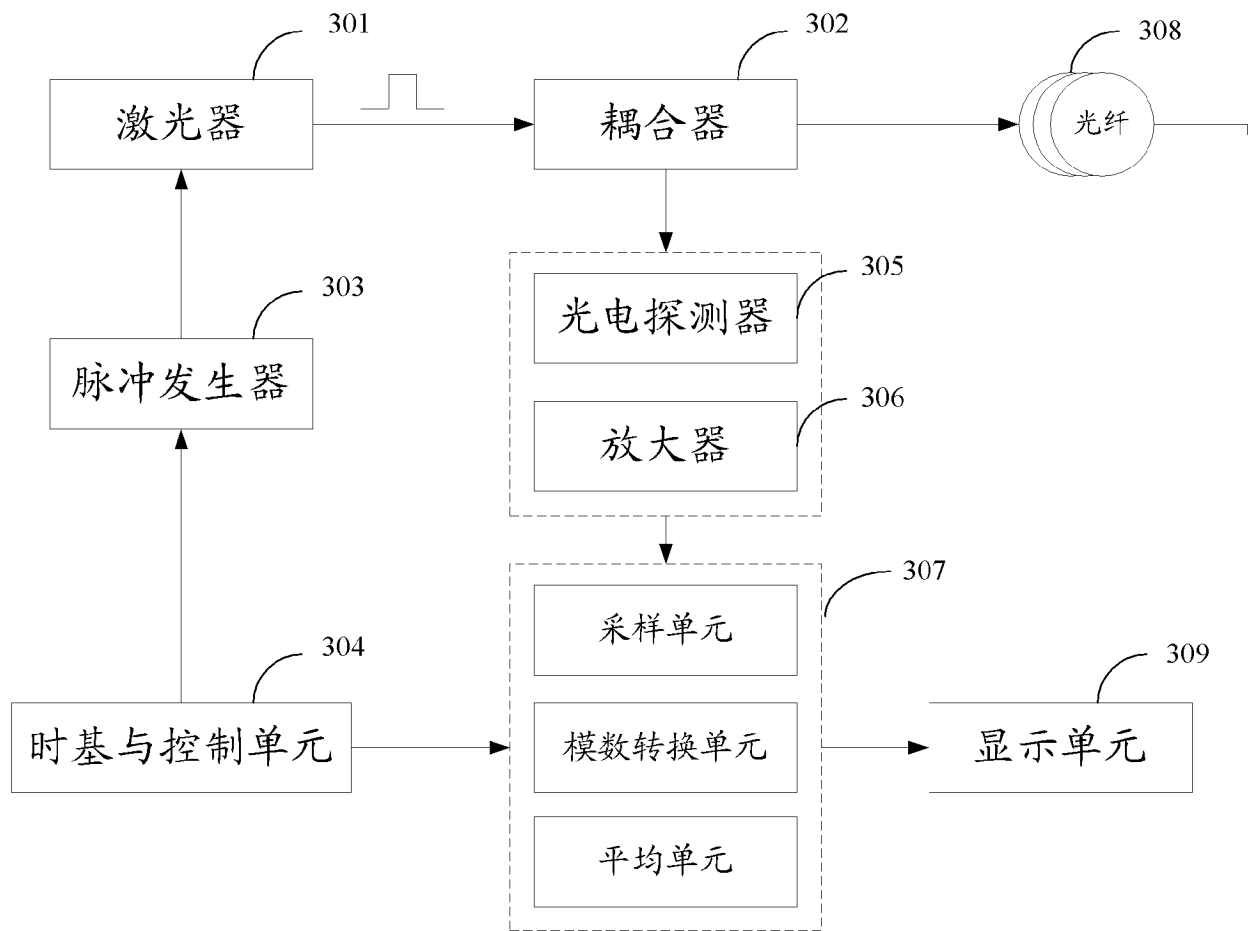


图 3

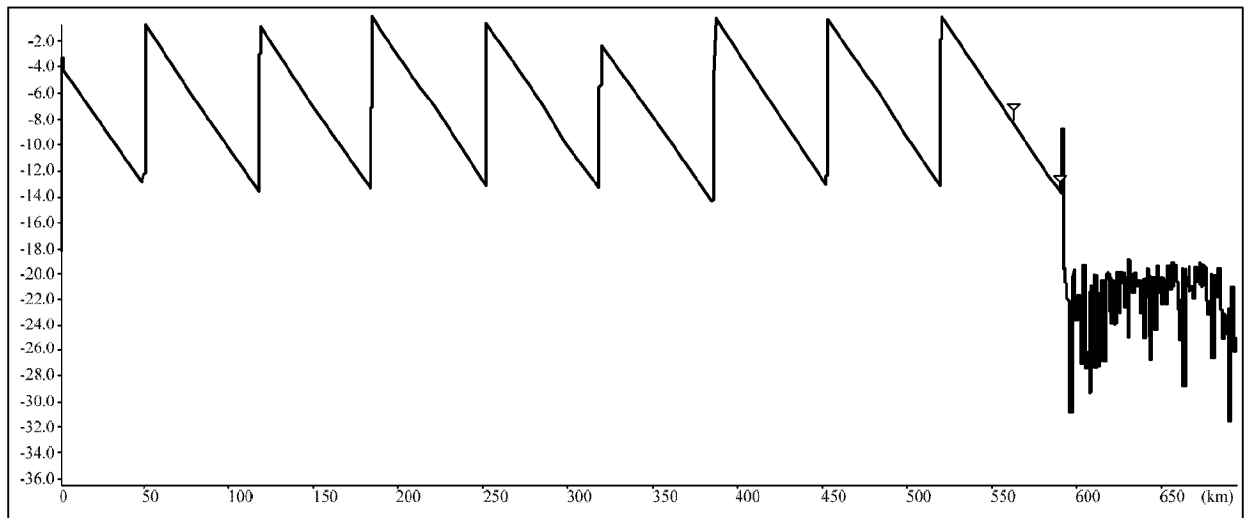


图 4

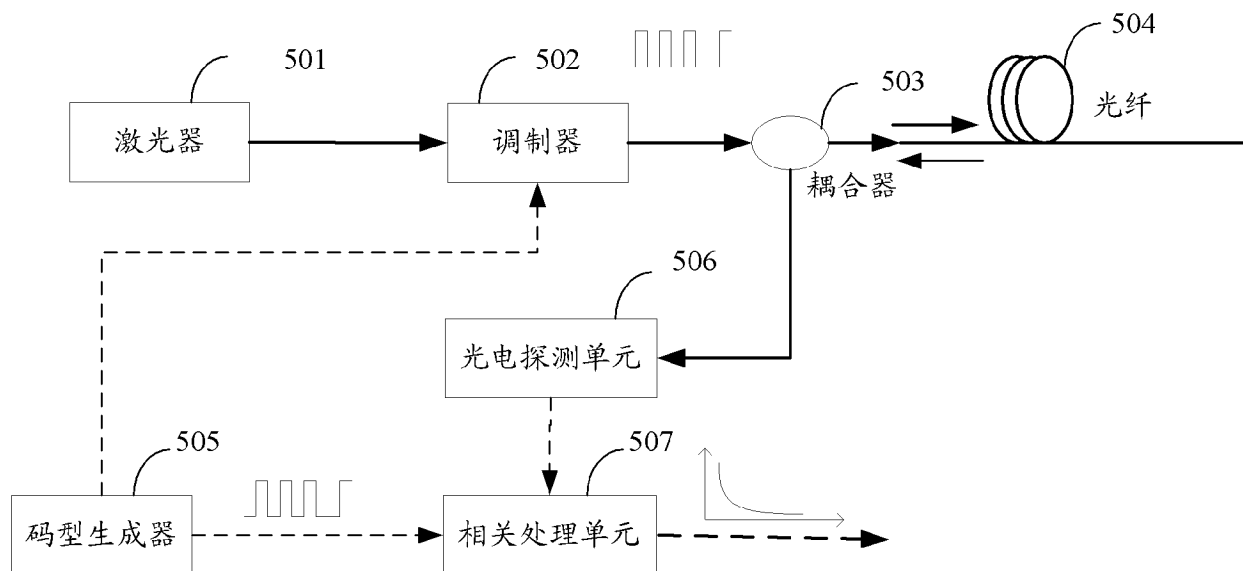


图 5

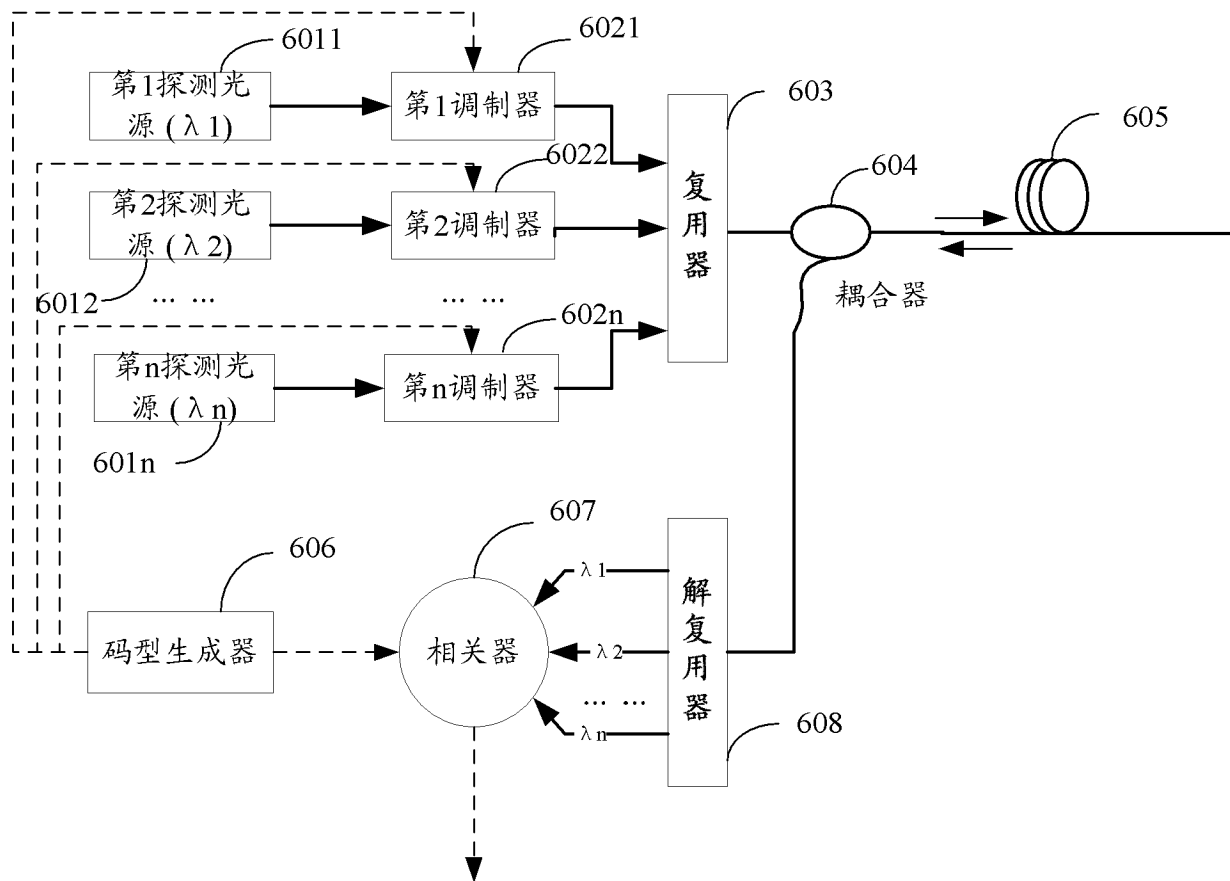


图 6

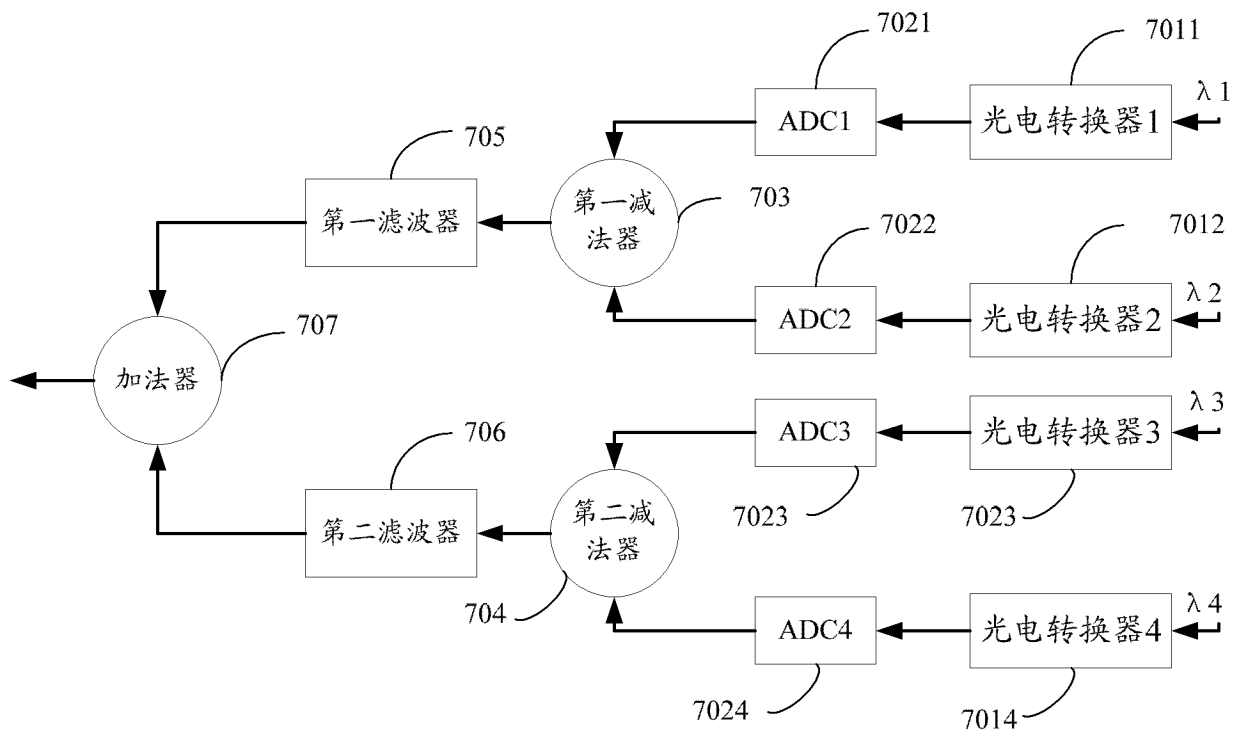


图 7