

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480032423.6

[51] Int. Cl.

G01J 11/00 (2006.01)

G02F 7/00 (2006.01)

G02F 1/35 (2006.01)

[43] 公开日 2006 年 12 月 6 日

[11] 公开号 CN 1875252A

[22] 申请日 2004.9.6

[21] 申请号 200480032423.6

[30] 优先权

[32] 2003.9.9 [33] IT [31] MI2003A001726

[86] 国际申请 PCT/EP2004/052058 2004.9.6

[87] 国际公布 WO2005/024363 英 2005.3.17

[85] 进入国家阶段日期 2006.4.30

[71] 申请人 M 通讯有限公司

地址 意大利热那亚

[72] 发明人 A·博戈尼 L·波蒂 F·蓬齐尼

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 刘杰

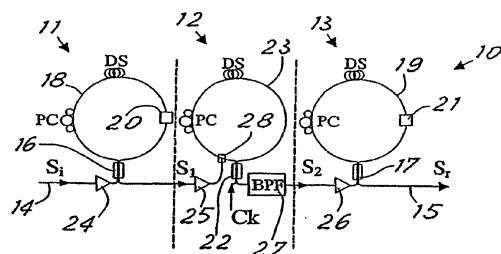
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

高时间分辨率的光采样器和采样方法

[57] 摘要

高时间分辨率的光采样器包括具有回路光程(12)的 TOAD 设备(11)，在该光程的入口处，输入要被采样的持续时间为 T_p 的光信号 S_i ；且沿该光程安排由源(16)产生的光控制信号 S_c 的输入的点(13)，且该光控制信号被通过延迟线(23)适当地延迟，以根据命令改变 TOAD 透射窗口相比于要被采样的信号的时间位置。在该回路中还有非线性装置(14)。该采样器还包括控制装置(17)，以命令延迟线(23)逐步移动所述透射窗口且使其在要被采样的信号上游动。测量装置(18)为每个窗口位置测量在 TOAD 输出处发射的平均功率；且处理装置(19)对为每个窗口位置所得到的平均功率执行求导，因此得到表示输入信号 S_i 的采样。



1. 一种高时间分辨率的光采样器，该光采样器包括具有回路光程（12）的 TOAD 设备（11），在该光程的入口处，输入要被采样的持续时间为 T_p 的光信号 S_i ；且沿该光程安排由源（16）产生的光控制信号 S_c 的输入的点（13），并且该光控制信号被通过延迟线（23）来相比于要被采样的信号适当地延迟，以便根据命令改变 TOAD 透射窗口相比于要被采样的信号的时间位置，且在该回路中还有控制装置（14）；而且还有控制装置（17），用于控制该延迟线（13）以在至少等于要被采样信号的持续时间 T_p 的时间间隔中逐步移动持续时间 T 大于 T_p 的所述透射窗口，以便在该要被采样的信号上游动；有测量装置（18），用于为每个窗口位置测量在 TOAD 输出处发射的平均功率；以及有处理装置（19），其执行在所述时间间隔上、所测量的平均功率的求导，并且因此获得表示输入信号 S_i 的采样。

2. 根据权利要求 1 的采样器，其特征在于，处理装置（19）对数据采样序列在时间上执行离散求导，该数据采样的序列表示每个窗口位置的功率，该求导被定义为：

$${}_1^N \nabla_k d_k = \frac{a_k - a_{k-1}}{\Delta t}$$

其中 d_k 是导出的序列， a_k （有 k 从 0 到 N ）是进入到求导装置的数据采样序列， $N+1$ 是数据采样的数目， Δt 是两个相邻采样之间的时间延迟。

3. 根据权利要求 1 的采样器，其特征在于，处理装置（19）包括低通滤波器（21），用于在求导之前滤波从测量装置（18）输出的平均功率测量。

4. 根据权利要求 3 的采样器，其特征在于，滤波是对数据采样序列的数值滤波，该数据采样序列表示每个窗口位置的功率。

5. 根据权利要求 4 的采样器，其特征在于，低通滤波器（21）是一巴特沃斯低通滤波器，其一阶具有一截止频率，该截止频率是从数据采样序列频率的 2% 到 10%。

6. 根据权利要求 5 的采样器，其特征在于，截止频率是在数据采样序列频率的 5% 附近。

7. 根据权利要求 1 的采样器，其特征在于，它包括附加装置（20），

该附加装置接收表示进入信号的采样并且处理和从其显示一表示进入信号 S_i 的量的图。

8. 根据权利要求 1 的采样器, 其特征在于, 非线性构件是 SOA 放大器。

9. 根据权利要求 1 的采样器, 其特征在于, 在该回路中、在控制信号输入点和非线性构件之间, 还有一可变延迟线 (15), 用于修改 TOAD 透射窗口时间宽度。

10. 用于光信号 S_i 的高时间分辨率采样方法, 包括以下步骤:

- 将信号 S_i 施加到 TOAD 设备, 该 TOAD 设备具有持续时间 T 大于要被采样的信号 S_i 的透射窗口;

- 在至少等于要被采样信号的持续时间 T 的时间间隔中逐步移动透射窗口以便在要被采样的信号上游动;

- 为每个窗口位置测量在 TOAD 设备的出口处发射的平均功率; 以及
- 执行在所述时间间隔上、所测量的平均功率的求导以获得表示进入信号的采样。

11. 根据权利要求 10 的方法, 包括在对功率测量得到的数据执行求导之前对其执行低通滤波的附加步骤。

高时间分辨率的光采样器和采样方法

本发明涉及一种采样方法以及一种具有高时间分辨率的低成本、简单且稳定的光采样器。特别地，该采样器利用十分简单的方案便能够容易地达到几百毫微微秒的分辨率。因此，该采样器适合于评估有数量级为微微秒以及甚至更少的持续时间的脉冲的形状。

近年来，由于对高比特率传输系统的需求，对使用超短光脉冲的兴趣已经增加，并且许多超快非线性光学器件的动态特征已经提高。

为了寻求满足对在现代示波器的时间分辨率极限之下的光学信号进行分析的需要，已经提出了光采样器。已经提出了不同的光采样技术，但是它们通常成本高并且十分复杂，或者它们具有稳定性和时间分辨率限制。特别地，达到数量级为微微秒大小或更小的时间分辨率是十分困难的。

本发明的总的目的是通过使具有数量级为几百毫微微秒的高时间分辨率的采样方法和低成本、简单且稳定的光采样器可用来补救上述缺点。

鉴于此目的，根据本发明寻求提供一种包括 TOAD 设备的高时间分辨率光采样器，该 TOAD 设备具有一回路 (loop) 光程，在该光程的输入处，馈入要被采样的持续时间为 T_p 的光信号 S_i ；且沿该光程安排由源产生的光控制信号 S_c 的输入的点，并且该光控制信号通过延迟线 (23) 被相比于要被采样的信号延迟，以便根据命令改变 TOAD 透射窗口相比于要被采样的信号的时间位置；在该回路中还有非线性设备 (14)；以及还有控制装置，以命令该延迟线在至少等于要被采样信号的持续时间 T_p 的时间间隔中逐步移动持续时间 T 大于 T_p 的所述透射窗口，使其在要被采样的信号上游动 (running)；以及有测量装置，用于为每个窗口位置测量在 TOAD 输出处发射的平均功率；且有处理装置，其执行在所述时间间隔上、所测量的平均功率的求导，并且因此获得表示信号 S_i 输入的采样。

同样，根据本发明，寻求实现一种采样方法，该采样方法具有光学信号 S_i 的高时间分辨率采样方法，该方法包括以下步骤：将信号 S_i 施加

到 TOAD 设备, 该 TOAD 设备具有持续时间 T 大于要被采样的信号 S_i 的透射窗口; 在至少等于要被采样信号的持续时间 T_i 的时间间隔中逐步移动透射窗口, 以使其在要被采样的信号上游动; 为每个窗口位置测量在 TOAD 设备的输出处发射的平均功率; 执行在所述时间间隔上、所测量的平均功率的求导以获得表示进入信号的采样。

为了阐明本发明的创新原理以及相比于现有技术的优点, 下面借助附图通过应用所述原理的非限定性例子来描述可能的实施例。在附图中:

图 1 示出了根据本发明实现的光采样器的框图; 以及
图 2 示出了图 1 的采样器的工作原理图。

参考附图, 图 1 示出了总地以参考数字 10 指代的根据本发明的光采样器。光采样器 10 是基于兆兆比特光非对称解复用器 (TOAD) 11。为此原因, 该采样器在此将被称为 TOS (基于 TOAD 的光采样器)。

TOAD 是基于 Sagnac 干涉原理的已知设备, 并且在现有技术中用于解复用复合信号, 即从时间上相互多路复用的多条光学信道中提取期望的光学信道。然而, 这个功能在根据本发明的采样器中完全未使用。

如图 1 所示, TOAD 由具有耦合器 13 (2×2 型) 和非线性构件 14 的回路反射路径 12 组成, 该耦合器和非线性构件都沿该回路排列。有利地, 使非线性构件 14 从回路的中线点 (median point) 相位离开 (throw) 一个距离 Δx 。检验脉冲 S_i 由合适的已知源 16 产生并且被注入到回路 12 中。

在现有技术中, TOAD 设备被提出用于光时分复用 (OTDM) 系统中的快速解复用操作, 因为通过一个经耦合器插入到回路中的控制脉冲, 它们允许打开一个其时间宽度仅仅依赖于该距离 Δx 的透射窗口。实际上, 该控制脉冲使非线性构件饱和以便如果两个相反传播的信号分量分别在控制脉冲之前和在控制脉冲之后通过该设备, 则它们经受不同的相位调制。反之, 它们受到相同相位调制的影响。

这两种不同的情况允许获得朝向该干涉结构的出口, 即在该回路的与要解复用的信号的输入端相反的端上, 的两个不同发射值。在此将不示出或详细描述 TOAD 的结构和工作原理, 因为它们对于本领域的技术人

员是众所周知的。

通过减少距离 Δx ，可以减少两个相反传播的信号的两两相交时间之间的相对延迟并且因此缩短透射窗口的时间长度。

通过插入在回路中的已知可变光延迟线 15 能够改变距离 Δx 。

透射窗口的开始前沿和结束前沿的上升时间和下降时间依赖于非线性构件 14。对于根据本发明的使用，发现使用已知的半导体光学放大器 (SOA) 作为非线性构件是有利的。在这种情况下，该窗口的开始前沿和结束前沿实际上依赖于 SOA 的饱和时间和控制脉冲的持续时间。通过适当地优化控制信号功率电平以减少 TOAD 透射窗口瞬变时间，基本极限变成仅仅为几百毫微微秒的 SOA 饱和时间。

正如众所周知的，相比于要再生的脉冲的振幅，采样过程需要超短的时间窗口。正如刚才所述的，上升前沿和下降前沿不会构成一个问题，因为能够足够陡峭地获得它们。然而，窗口的最小持续时间由非线性构件传播时间限制，该非线性构件传播时间大于或至少可比于期望采样的信号的持续时间。这对于其中正常使用 TOAD 的解复用器的常规使用是足够的。但是，对于用作采样器，这根本是不可接受的。

根据本发明的原理，TOAD 被发现可用作采样器，即使考虑到透射窗口的振幅宽于要被采样的整个脉冲，只要它窄得足以拒斥相邻脉冲即可。通过延迟线 15 能够人工地执行合适的脉冲持续时间调整。

实际上，通过在时间的合适间隔之上移动窗口，已发现有可能实现信号脉冲的积分。实际上，如可在图 2 看到的，通过在等于要被采样脉冲的整个持续时间 T_p 的时间间隔中从中心时刻 $t_0 - T/2$ 逐步地移动窗口一数量 τ 并且对窗口每个位置测量在出口处发射的平均功率，可以发现下面函数：

$$X(\tau) = k \int x(t) dt$$

其中 $x(t)$ 是单个脉冲形状函数并且 k 是一个常数。

通过借助已知的控制设备 17 合适地控制延迟线 23 而找到依赖于要测量的信号的窗口的正确移动，该延迟线 23 被安排为相比于要被采样的信号而延迟控制信号。已知控制设备 17 和处理单元 19 的功能通过 PC (未示出) 执行。使用 LABVIEW™ 软件，PC 将期望的延迟给予延迟线 23。PC 然后测量已经通过延迟线 23 实现的延迟以在向处理单元 19 指示何时获取数据之前验证它是正确的。这个过程被迭代直到已经实现的延迟基本

上等于期望的延迟。一旦获得期望的延迟，控制设备 17 就授权处理单元 19 继续进行并且在 21 执行数据滤波和在 22 获得导数。

通过在 TOAD 出口处安排的合适的已知装置或功率测量器 18 来找到信号的平均功率 $X(\tau)$ ，并且该已知装置或功率测量器 18 有利地提供数值形式的采样结果，用于随后的处理。

为了发现表示正被测试的单个脉冲形状的采样，在测量器的出口导出曲线 $X(\tau)$ 是足够的。分辨率仅仅受限于透射窗口的瞬变时间以及光延迟线的分辨率，该光延迟线相比于该信号来移动控制脉冲以便发现该窗口的时间游动。

因此，信号 $X(\tau)$ 被发送给处理单元 19，该处理单元 19 执行进入信号的求导，从而然后将其结果发送给例如显示单元 20。

时间离散导数可简单地得到并且被定义为：

$$\bigvee_k d_k = \frac{a_k - a_{k-1}}{\Delta t}$$

其中 d_k 是导数序列， a_k (有 k 从 0 到 N) 是经滤波的序列， $N+1$ 是数据采样的数目， Δt 是两个相邻采样之间的时间延迟。

相比于基于光纤的干涉结构，如果使用与偏振无关的 SOA，则 TOAD 具有许多优点，例如较高的时间稳定性以及对偏振的不敏感性。而且，瞬变时间和透射时间可显著低于控制脉冲振幅。

总而言之，根据本发明实现的采样过程的物理限制仅仅取决于透射窗口上升时间，且因此分辨率由 SOA 饱和时间固定，因此可以采样持续时间小于微微秒以及分辨率为几百毫微微秒的脉冲。这可以在不需要超短光采样脉冲的情况下实现。

再次如可在图 1 中看到的，为了提高结果的质量，发现令处理单元 19 在导数计算装置 22 之前包括低通滤波器 21 是有利的。滤波操作消除了由激光源的不稳定性引起的噪声以及依赖于所使用的特定 SOA 的偏振残余。

由于测量的不精确性、源的不稳定性、脉冲抖动等等，所获得的表示脉冲形状的积分的数据可具有不可忽略的波动。而且，依赖于偏振的 SOA 的任何使用由于偏振变化而产生所获得的数据波动的增加。这些波动损害了在时间上的求导操作。然而，噪声成分的高频特性允许通过低通滤波有效地消除这些测量降级因素。从试验性测试已经示出了噪声降低

的效率与滤波器形式无关并且实际上仅仅依赖于其振幅。当然，滤波器频带必须被优化以减少上述波动而不影响信息。

为了有效的噪声抑制，发现使用一巴特沃斯 (Butterworth) 低通滤波器是有利的，其一阶具有一裁切频率 (cutting frequency)，该裁切频率是数据采样序列频率的 2% - 10%。特别地，在数据采样序列频率 5% 附近的数字被发现是有利的。在滤波操作之后，可对数据求导以得到脉冲形状。

现在很显然，通过使允许精确采样超短脉冲的简单和可靠的采样器可用而已经实现了预定目的。在可利用根据本发明的采样器和具有无疑较高成本和复杂度的已知采样器获得的结果间的对比测试使根据本发明的采样器的优良性能清楚。

当然，在此要求的专有权的范围内通过所述原理的非限定例子给出了应用本发明创新原理的实施例的上面描述。例如，除了用于显示被采样信号的形状之外，采样数据可用于任何其他期望的目的以及也可进一步处理。自然地，所获得的可视化可以有表示进入信号的其他量，而不仅是它的在时间中的振幅。

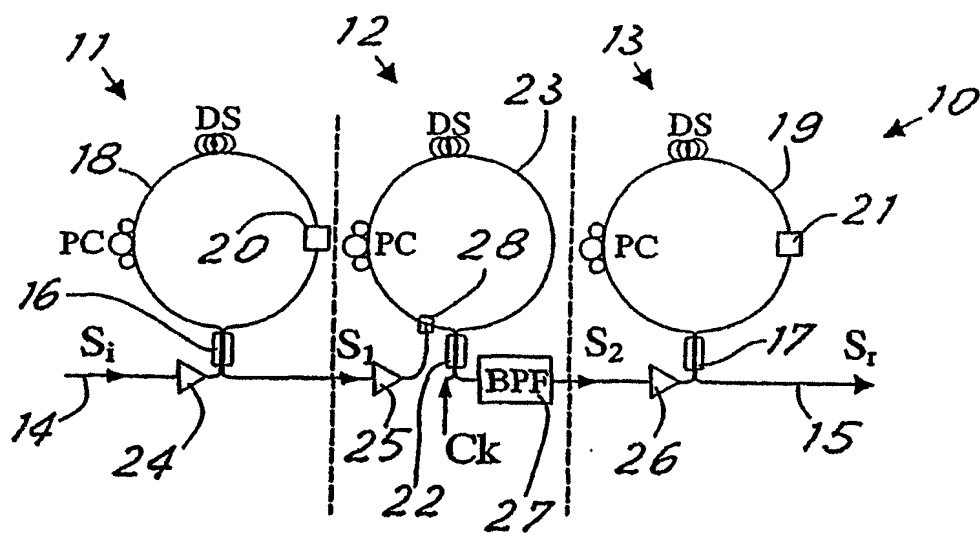


图 1

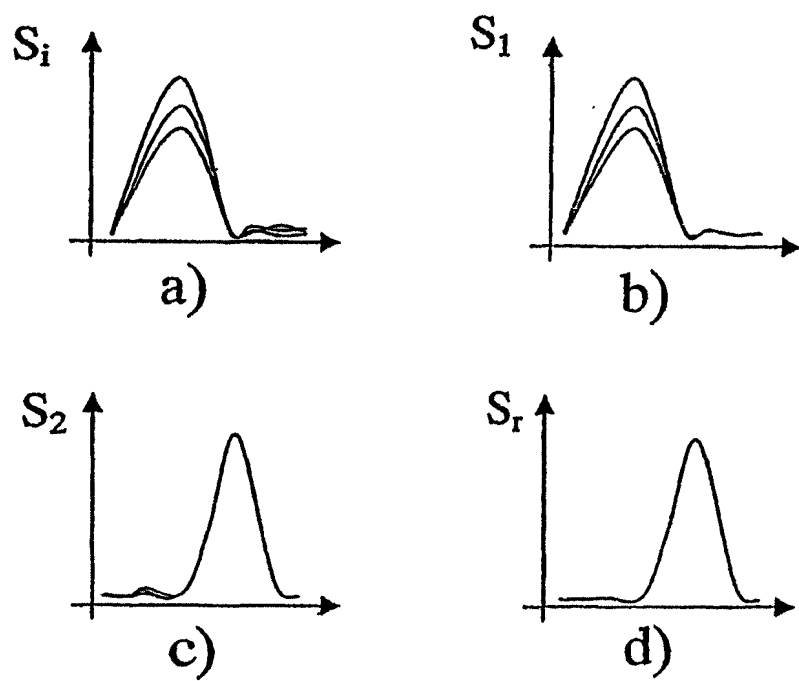


图 2