



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103004110 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 09

(21) 申请号 201280001461. X

H04B 10/2513(2013. 01)

(22) 申请日 2012. 08. 03

(56) 对比文件

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2012. 12. 10

CN 101753217 A, 2010. 06. 23, 全文.

Qi Sui et al..Fast and Robust

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2012/079619 2012. 08. 03

Chromatic Dispersion Estimation Using
Auto-Correlation of Signal Power
Waveform for DSP based-Coherent Systems.

(87) PCT国际申请的公布数据
W02014/019211 ZH 2014. 02. 06

《Optical Fiber Communication Conference
and Exposition (OFC/NFOEC), 2012 and

(73) 专利权人 华为技术有限公司
地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为
总部办公楼

the National Fiber Optic Engineers

Conference》. 2012, 第 2 页第 2 小结内容以及图
1.

专利权人 香港理工大学

审查员 靳晶

(72) 发明人 隋琪 刘伯涛 吕超 李良川

(74) 专利代理机构 北京龙双利达知识产权代理
有限公司 11329

代理人 毛威 张亮

(51) Int. Cl.

H04B 10/077(2013. 01)

权利要求书4页 说明书22页 附图2页

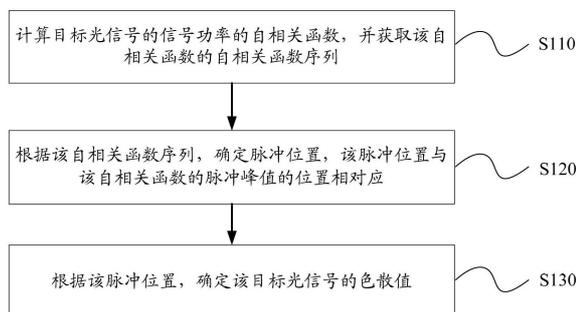
(54) 发明名称

色散估计的方法、装置和系统

(57) 摘要

本发明实施例提供了一种色散估计的方法、装置和系统,该方法包括:计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取该自相关函数的自相关函数序列;根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的位置相对应;根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值。根据本发明实施例的色散估计的方法、装置和系统,通过获取目标光信号的功率自相关函数,并确定该功率自相关函数出现脉冲峰值的位置,能够在无需扫描所有可能的色散值的情况下,根据该出现脉冲峰值的位置确定目标光信号的色散值,到达快速估计信号的色散值的目的。

100



CN 103004110 B

1. 一种色散估计的方法,其特征在于,所述方法包括:

计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取所述自相关函数的自相关函数序列;

根据所述自相关函数序列,确定脉冲位置,所述脉冲位置与所述自相关函数的脉冲峰值的位置相对应;

根据所述脉冲位置,确定所述目标光信号的色散值;其中

所述根据所述自相关函数序列,确定脉冲位置,包括:

根据所述自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,所述第一自相关函数序列包括所述脉冲峰值;

根据预设的第一窗口,对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;

根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,所述第一序号是所述第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;

根据所述第一自相关函数序列和所述第二窗口,确定第二自相关函数序列;

根据所述第二窗口,对所述第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;

根据所述第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列,确定所述脉冲位置。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述目标光信号为非归零码格式信号的情况下,在根据目标光信号的信号功率的自相关函数,确定自相关函数序列前,所述方法还包括:

对所述目标光信号进行第一处理,以消除所述目标光信号的零频干扰。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,在根据目标光信号的信号功率的自相关函数,确定自相关函数序列前,所述方法还包括:

对所述目标光信号进行第二处理,以消除所述目标光信号的直流分量干扰。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,包括:

根据第一序号和第一预设值,从所述第一自相关函数序列中确定第一范围,所述第一范围以所述第一序号为中心,所述第一范围的大小与所述第一预设值相对应;

根据所述第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从所述第一自相关函数序列中确定第二范围,所述第二范围以所述第一元素的序号为中心,所述第二范围的大小与所述第二预设值相对应;

根据所述第一元素和所述第二范围中数值第二大的第二元素,确定所述第二窗口。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述根据所述脉冲位置,确定所述目标光信号的色散值,包括:

根据以下公式确定所述目标光信号的色散值,

$$CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4} \right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

$$x = \frac{n}{2\pi \cdot \text{SamplingRate} \cdot \text{SymbolRate}}$$

其中,CD 表示色散值,n 表示所述脉冲位置在所述自相关函数序列中的序号, T_0 表示所

述目标光信号的初始发射机光脉冲宽度, c 表示真空光速, λ 表示所述目标光信号的波长, $SamplingRate$ 表示模数转换器的采样率, $SymbolRate$ 表示所述目标光信号的符号速率。

6. 一种色散估计的装置, 其特征在于, 所述装置包括:

功率自相关处理单元, 用于计算目标光信号的信号功率的自相关函数, 并获取所述自相关函数的自相关函数序列, 以及向脉冲位置搜索单元传输指示所述自相关函数序列的信息;

脉冲位置搜索单元, 用于从所述功率自相关处理单元获取指示所述自相关函数序列的信息, 并根据所述自相关函数序列, 确定脉冲位置, 所述脉冲位置与所述自相关函数的脉冲峰值的位置相对应, 以及向色散值确定单元传输指示所述脉冲位置的信息;

色散值确定单元, 用于从所述脉冲位置搜索单元获取指示所述脉冲位置的信息, 并根据所述脉冲位置, 确定所述目标光信号的色散值; 其中

所述脉冲位置搜索单元具体用于根据所述自相关函数序列, 确定第一自相关函数序列, 所述第一自相关函数序列包括所述脉冲峰值, 用于根据预设的第一窗口, 对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理, 用于根据第一序号和第一预设值, 确定第二窗口, 所述第一序号是所述第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号, 用于根据所述第一自相关函数序列和所述第二窗口, 确定第二自相关函数序列, 用于根据所述第二窗口, 对所述第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理, 用于根据所述第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列, 确定所述脉冲位置。

7. 根据权利要求 6 所述的装置, 其特征在于, 在所述目标光信号为非归零码格式信号的情况下, 所述装置还包括:

第一干扰处理单元, 用于对所述目标光信号进行第一处理, 以消除所述目标光信号的零频干扰。

8. 根据权利要求 6 或 7 所述的装置, 其特征在于, 所述装置还包括:

第二干扰处理单元, 用于对所述目标光信号进行第二处理, 以消除所述目标光信号的直流分量干扰。

9. 根据权利要求 6 所述的装置, 其特征在于, 所述脉冲位置搜索单元具体用于根据第一序号和第一预设值, 从所述第一自相关函数序列中确定第一范围, 所述第一范围以所述第一序号为中心, 所述第一范围的大小与所述第一预设值相对应;

用于根据所述第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值, 从所述第一自相关函数序列中确定第二范围, 所述第二范围以所述第一元素的序号为中心, 所述第二范围的大小与所述第二预设值相对应;

用于根据所述第一元素和所述第二范围中数值第二大的第二元素, 确定所述第二窗口。

10. 根据权利要求 6 所述的装置, 其特征在于, 所述色散值确定单元具体用于根据以下公式确定所述目标光信号的色散值,

$$CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4} \right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

$$x = \frac{n}{2\pi \cdot SamplingRate \cdot SymbolRate}$$

其中, CD 表示色散值, n 表示所述脉冲位置在所述自相关函数序列中的序号, T_0 表示所述目标光信号的初始发射机光脉冲宽度, c 表示真空光速, λ 表示所述目标光信号的波长, SamplingRate 表示模数转换器的采样率, SymbolRate 表示所述目标光信号的符号速率。

11. 一种色散估计的系统, 其特征在于, 所述系统包括:

总线;

与所述总线相连的处理器;

与所述总线相连的存储器;

其中, 所述处理器通过所述总线, 调用所述存储器中存储的程序, 以用于计算目标光信号的信号功率的自相关函数, 并获取所述自相关函数的自相关函数序列;

根据所述自相关函数序列, 确定脉冲位置, 所述脉冲位置与所述自相关函数的脉冲峰值的出现位置相对应;

根据所述脉冲位置, 确定所述目标光信号的色散值; 其中

所述处理器具体用于根据所述自相关函数序列, 确定第一自相关函数序列, 所述第一自相关函数序列包括所述脉冲峰值, 用于根据预设的第一窗口, 对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理, 用于根据第一序号和第一预设值, 确定第二窗口, 所述第一序号是所述第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号, 用于根据所述第一自相关函数序列和所述第二窗口, 确定第二自相关函数序列, 用于根据所述第二窗口, 对所述第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理, 用于根据所述第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列, 确定所述脉冲位置。

12. 根据权利要求 11 所述的系统, 其特征在于, 在所述目标光信号为非归零码格式信号的情况下, 所述处理器通过所述总线, 调用所述存储器中存储的程序, 以用于对所述目标光信号进行第一处理, 以消除所述目标光信号的零频干扰。

13. 根据权利要求 11 或 12 所述的系统, 其特征在于, 所述处理器通过所述总线, 调用所述存储器中存储的程序, 以用于对所述目标光信号进行第二处理, 以消除所述目标光信号的直流分量干扰。

14. 根据权利要求 11 所述的系统, 其特征在于, 所述处理器通过所述总线, 调用所述存储器中存储的程序, 以具体用于根据第一序号和第一预设值, 从所述第一自相关函数序列中确定第一范围, 所述第一范围以所述第一序号为中心, 所述第一范围的大小与所述第一预设值相对应;

用于根据所述第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值, 从所述第一自相关函数序列中确定第二范围, 所述第二范围以所述第一元素的序号为中心, 所述第二范围的大小与所述第二预设值相对应;

用于根据所述第一元素和所述第二范围中数值第二大的第二元素, 确定所述第二窗口。

15. 根据权利要求 11 所述的系统, 其特征在于, 所述处理器通过所述总线, 调用所述存储器中存储的程序, 以具体用于根据以下公式确定所述目标光信号的色散值,

$$CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4} \right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

$$x = \frac{n}{2\pi \cdot \text{SamplingRate} \cdot \text{SymbolRate}}$$

其中, CD 表示色散值, n 表示所述色散出现位置在所述自相关函数序列中的序号, T_0 表示所述目标光信号的初始发射机光脉冲宽度, c 表示真空光速, λ 表示所述目标光信号的波长, SamplingRate 表示模数转换器的采样率, SymbolRate 表示所述目标光信号的符号速率。

色散估计的方法、装置和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及通信领域,并且更具体地,涉及色散估计的方法、装置和系统。

背景技术

[0002] 目前,已知一种色散估计的方法,即,对于未知色散的信号,以一定的步长间隔,扫描所有可能的色散值,并对于每个色散值通过设计代价函数(也可以称为算法设计)计算出对应的函数值,最后通过比较所有计算出的函数值(最大值或最小值),找到实际的色散值,实现色散估计。

[0003] 但是,由于该方法需要扫描所有的色散值以进行计算,因此需要消耗大量的时间,不能快速估计信号的色散值。

发明内容

[0004] 本发明实施例提供一种,能够快速估计信号的色散值。

[0005] 第一方面,提供了一种色散估计的方法,该方法包括:计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取该自相关函数的自相关函数序列;根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的位置相对应;根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值。

[0006] 在一种可能的实施方式中,在该目标光信号为非归零码格式信号的情况下,在根据目标光信号的信号功率的自相关函数,确定自相关函数序列前,该方法还包括:对该目标光信号进行第一处理,以消除所述目标光信号的零频干扰。

[0007] 结合第一方面和第一种可能的实施方式,在第二种可能的实施方式中,在根据目标光信号的信号功率的自相关函数,确定自相关函数序列前,该方法还包括:对该目标光信号进行第二处理,以消除该目标光信号的直流分量干扰。

[0008] 结合第一方面、第一种可能的实施方式和第二种可能的实施方式,在第三种可能的实施方式中,该根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,包括:根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,该第一自相关函数序列包括该脉冲峰值;根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0009] 结合第一方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式和第三种可能的实施方式,在第四种可能的实施方式中,该根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置,包括:根据预设的第一窗口,对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0010] 结合第一方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式和第四种可能的实施方式,在第五种可能的实施方式中,该根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置,包括:根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,该第一序号是该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;根据该第一自相关函数序列和该第二窗口,确定第二自相关函数序列;根据该第二

窗口,对该第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;根据该第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0011] 结合第一方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式、第四种可能的实施方式和第五种可能的实施方式,在第六种可能的实施方式中,该根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,包括:根据第一序号和第一预设值,从该第一自相关函数序列中确定第一范围,该第一范围以该第一序号为中心,该第一范围的大小与该第一预设值相对应;根据该第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从该第一自相关函数序列中确定第二范围,该第二范围以该第一元素的序号为中心,该第二范围的大小与该第二预设值相对应;根据该第一元素和该第二范围中数值第二大的第二元素,确定该第二窗口。

[0012] 结合第一方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式、第四种可能的实施方式、第五种可能的实施方式和第六种可能的实施方式,在第七种可能的实施方式中,该根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值,包括:根据以下公式确定该目标光信号的色散值,

$$[0013] \quad CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4} \right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

$$[0014] \quad x = \frac{n}{2\pi \cdot \text{SamplingRate} \cdot \text{SymbolRate}}$$

[0015] 其中,CD表示色散值,n表示该脉冲位置在该自相关函数序列中的序号, T_0 表示该目标光信号的初始发射机光脉冲宽度,c表示真空光速, λ 表示该目标光信号的波长,SamplingRate表示模数转换器的采样率,SymbolRate表示该目标光信号的符号速率。

[0016] 第二方面,提供了一种色散估计的装置,该装置包括:功率自相关处理单元,用于计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取该自相关函数的自相关函数序列,以及向脉冲位置搜索单元传输指示该自相关函数序列的信息;脉冲位置搜索单元,用于从该功率自相关处理单元获取指示该自相关函数序列的信息,并根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的位置相对应,以及向色散值确定单元传输指示该脉冲位置的信息;色散值确定单元,用于从该脉冲位置搜索单元获取指示该脉冲位置的信息,并根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值。

[0017] 在一种可能的实施方式中,在该目标光信号为非归零码格式信号的情况下,该装置还包括:第一干扰处理单元,用于对该目标光信号进行第一处理,以消除所述目标光信号的零频干扰。

[0018] 结合第二方面和第一种可能的实施方式,在第二种可能的实施方式中,该装置还包括:第二干扰处理单元,用于对该目标光信号进行第二处理,以消除该目标光信号的直流分量干扰。

[0019] 结合第二方面、第一种可能的实施方式和第二种可能的实施方式,在第三种可能的实施方式中,该脉冲位置搜索单元具体用于根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,该第一自相关函数序列包括该脉冲峰值;用于根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0020] 结合第二方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式和第三种可能的实施方式,在第四种可能的实施方式中,该脉冲位置搜索单元具体用于根据预设的第一窗

口,对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;用于根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0021] 结合第二方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式和第四种可能的实施方式,在第五种可能的实施方式中,该脉冲位置搜索单元具体用于根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,该第一序号是该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;用于根据该第一自相关函数序列和该第二窗口,确定第二自相关函数序列;用于根据该第二窗口,对该第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;用于根据该第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0022] 结合第二方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式、第四种可能的实施方式和第五种可能的实施方式,在第六种可能的实施方式中,该脉冲位置搜索单元具体用于根据第一序号和第一预设值,从该第一自相关函数序列中确定第一范围,该第一范围以该第一序号为中心,该第一范围的大小与该第一预设值相对应;用于根据该第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从该第一自相关函数序列中确定第二范围,该第二范围以该第一元素的序号为中心,该第二范围的大小与该第二预设值相对应;用于根据该第一元素和该第二范围中数值第二大的第二元素,确定该第二窗口。

[0023] 结合第二方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式、第四种可能的实施方式、第五种可能的实施方式和第六种可能的实施方式,在第七种可能的实施方式中,该色散值确定单元具体用于根据以下公式确定该目标光信号的色散值,

$$[0024] \quad CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4} \right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

$$[0025] \quad x = \frac{n}{2\pi \cdot \text{SamplingRate} \cdot \text{SymbolRate}}$$

[0026] 其中,CD表示色散值,n表示该脉冲位置在该自相关函数序列中的序号, T_0 表示该目标光信号的初始发射机光脉冲宽度,c表示真空光速, λ 表示该目标光信号的波长,SamplingRate表示模数转换器的采样率,SymbolRate表示该目标光信号的符号速率。

[0027] 第三方面,提供了一种色散估计的系统,该系统包括:总线;与该总线相连的处理器;与该总线相连的存储器;其中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以用于计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取该自相关函数的自相关函数序列;根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的出现位置相对应;根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值。

[0028] 在一种可能的实施方式中,在该目标光信号为非归零码格式信号的情况下,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以用于对该目标光信号进行第一处理,以消除所述目标光信号的零频干扰。

[0029] 结合第三方面和第一种可能的实施方式,在第二种可能的实施方式中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以用于对该目标光信号进行第二处理,以消除该目标光信号的直流分量干扰。

[0030] 结合第三方面、第一种可能的实施方式和第二种可能的实施方式,在第三种可能的实施方式中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以具体用于根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,该第一自相关函数序列包括该脉冲峰值;根据该第

一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0031] 结合第三方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式和第三种可能的实施方式,在第四种可能的实施方式中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以具体用于根据预设的第一窗口,对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;用于根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0032] 结合第三方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式和第四种可能的实施方式,在第五种可能的实施方式中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以具体用于根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,该第一序号是该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;用于根据该第一自相关函数序列和该第二窗口,确定第二自相关函数序列;用于根据该第二窗口,对该第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;用于根据该第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0033] 结合第三方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式、第四种可能的实施方式和第五种可能的实施方式,在第六种可能的实施方式中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以具体用于根据第一序号和第一预设值,从该第一自相关函数序列中确定第一范围,该第一范围以该第一序号为中心,该第一范围的大小与该第一预设值相对应;用于根据该第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从该第一自相关函数序列中确定第二范围,该第二范围以该第一元素的序号为中心,该第二范围的大小与该第二预设值相对应;用于根据该第一元素和该第二范围中数值第二大的第二元素,确定该第二窗口。

[0034] 结合第三方面、第一种可能的实施方式、第二种可能的实施方式、第三种可能的实施方式、第四种可能的实施方式、第五种可能的实施方式和第六种可能的实施方式,在第七种可能的实施方式中,该处理器通过该总线,调用该存储器中存储的程序,以具体用于根据以下公式确定该目标光信号的色散值,

$$[0035] \quad CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4} \right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

$$[0036] \quad x = \frac{n}{2\pi \cdot \text{SamplingRate} \cdot \text{SymbolRate}}$$

[0037] 其中,CD表示色散值,n表示该色散出现位置在该自相关函数序列中的序号, T_0 表示该目标光信号的初始发射机光脉冲宽度,c表示真空光速, λ 表示该目标光信号的波长,SamplingRate表示模数转换器的采样率,SymbolRate表示该目标光信号的符号速率。

[0038] 根据本发明实施例的色散估计的方法、装置和系统,通过获取目标光信号的功率自相关函数,并确定该功率自相关函数出现脉冲峰值的位置,能够在无需扫描所有可能的色散值的情况下,根据该出现脉冲峰值的位置确定目标光信号的色散值,到达快速估计信号的色散值的目的。

附图说明

[0039] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图

获得其他的附图。

[0040] 图 1 是根据本发明实施例的色散估计的方法的示意性流程图。

[0041] 图 2 是根据本发明实施例的色散估计的装置的示意性框图。

[0042] 图 3 是根据本发明实施例的色散估计的方法的示意性框图。

具体实施方式

[0043] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0044] 图 1 示出了根据本发明实施例的色散估计的方法 100 的示意性流程图,如图 1 所示,该方法 100 包括:

[0045] S110,计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取该自相关函数的自相关函数序列;

[0046] S120,根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的位置相对应;

[0047] S130,根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值。

[0048] 在本发明实施例中,通过试验(例如,获取多个光信号的功率自相关函数,并获取该多个光信号的色散值)发现,在光信号(例如,单偏振的相移键控法(PSK, Phase Shift Keying)信号、偏振分割复用(PDM, Polarization Division Multiplexing)的 PSK 信号或正交振幅调制(QAM, Quadrature Amplitude Modulation)信号)存在色散时,该光信号的功率自相关函数会出现一个脉冲峰值,并且,不同的脉冲峰值出现位置与不同的色散值之间存在映射对应关系,因此,在本发明实施例中,可以根据光信号的信号功率的自相关函数中脉冲峰值的位置,确定该光信号的色散值。

[0049] 因此,在 S110 中,可以计算目标光信号的信号功率(光功率)的自相关函数。在本发明实施例中,目标光信号为需要估算色散的光信号。在本发明实施例中,可以对该目标光信号进行以下处理,以单偏振系统为例,在相干接收机中,目标光信号和本振光在混频器(Hybrid)中混合,通过平衡接收机后转化为同向(in-phase)电流和正交电流(quadrature)两路电流,经过两路高速模数转换器(ADC, Analog to Digital Converter)采样后,转换为数字信号,得到 I 信号(同向信号)和 Q 信号(正交信号),从而,可以根据该 I 信号和 Q 信号来确定目标光信号的信号功率的自相关函数。以下,作为示例而非限定,以该通过该 I 信号和 Q 信号确定目标光信号的信号功率的自相关函数为例进行说明。

[0050] 可选地,在本发明实施例中,在该目标光信号为非归零码格式信号的情况下,在根据目标光信号的信号功率的自相关函数,确定自相关函数序列前,该方法还包括:

[0051] 对该目标光信号进行第一处理,以消除所述目标光信号的零频干扰。

[0052] 具体地说,零频干扰是指,在该目标光信号为非归零(NRZ, No Return Zero)码格式的情况下,如果直接获取该格式的信号的自相关函数,则获取的自相关函数的零频位置会出现一个较大的峰值,从而对后述搜索脉冲峰值造成影响,因此,作为示例而非限定,在本发明实施例中,可以对 I 信号和 Q 信号进行延迟处理和相减处理,以实现对该目标光信号的

高通滤波,其中,该延迟处理使用的延迟大小可以为例如,一个符号周期。从而,能够避免获取的自相关函数在零频位置出现较大的峰值。

[0053] 可选地,在本发明实施例中,在根据目标光信号的信号功率的自相关函数,确定自相关函数序列前,该方法还包括:

[0054] 对该目标光信号进行第二处理,以消除该目标光信号的直流分量干扰。

[0055] 具体地说,作为示例而非限定,可以对 I 信号和 Q 信号(具体地说,是与该 I 信号相对应的 I 信号序列以及与该 Q 信号相对应的 Q 信号序列)进行求平方和处理,然后用经过该求平方和处理后的信号减去信号均值,其中,作为示例而非限定,该信号均值可以通过以下方法确定,即,可以获取与该 I 信号相对应的 I 信号序列,以及与该 Q 信号相对应的 Q 信号序列,其后,对 I 信号序列和 Q 信号序列求和,然后除以 I 信号序列和 Q 信号序列的长度,从而确定该信号均值。通过以上处理,能够实现对该目标光信号的隔直处理,从而能够去掉直流分量产生的无用的自相关函数部分。

[0056] 其后,在 S110 中,可以对经过上述处理的目标光信号进行傅里叶变换,再做幅度平方,最后进行逆傅里叶变换,得到该目标光信号的信号功率的自相关函数,进而可以根据该自相关函数,生成以该自相关函数的各函数值为元素的自相关函数序列(以下,为了便于说明,记作 $R_1[n]$)。并且自相关函数以表示为:

$$[0057] \quad \bar{R}_{yy}[n] = \text{IFFT} \left\{ \text{FFT} (y[n])^2 \right\} = \frac{1}{N} \cdot \text{FFT} \left\{ \text{FFT} (y[n])^2 \right\}$$

[0058] 其中, $\bar{R}_{yy}[n]$ 表示目标光信号的自相关函数, FFT 表示快速傅里叶变换, IFFT 表示快速反傅里叶变换, $y[n]$ 表示目标光信号的信号功率(光功率), $R_1[n]$ 为根据该自相关函数 ($\bar{R}_{yy}[n]$) 生成的函数序列(自相关函数序列)。

[0059] 在 S120 中,可以从该 $R_1[n]$ 中搜索脉冲峰值的位置(脉冲位置),即,确定该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的序号。

[0060] 可选地,在本发明实施例中,可以搜索 $R_1[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 a),并将该元素 a 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 a 的序号,以在后述确定色散值时,根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说元素 a 在 $R_1[n]$ 中的序号(记作 n_1),确定色散值(随后进行详细说明)。

[0061] 可选地,在本发明实施例中,该根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,包括:

[0062] 根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,该第一自相关函数序列包括与该脉冲峰值相对应的元素;

[0063] 根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0064] 具体地说,在本发明实施例中,可以从该 $R_1[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第一自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_2[n]$),并且,在本发明实施例中,可以将 $R_1[n]$ 作为 $R_2[n]$,也可以将 $\{R_1[N_1]:R_1[N_2]\}$ (即, $R_1[n]$ 中从序号为 N_1 的元素到序号为 N_2 的元素)作为 $R_2[n]$,其中, N_1 表示 $R_1[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_2 表示 $R_1[n]$ 中选取的结束位置(序号)。

[0065] 可选地,在本发明实施例中,该根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,包括:

[0066] 根据用于获取所述目标光信号的相干接收机的电带宽和用于获取所述目标光信

号的高速模数转换器的采样率,从所述自相关函数序列中确定选取所述第一自相关函数序列的开始位置。

[0067] 具体地说,可以根据以下式 1 确定 N_1 ,即:

$$[0068] \quad N_1 > \text{floor} (2 \times \text{SamplingRate} / B_e) \quad \text{式 1}$$

[0069] 其中, floor 为向下取整数函数, B_e 表示接收机电带宽, SamplingRate 是表示 ADC 采样率,通常情况下, $B_e > 10\text{GHz}$, $\text{SamplingRate} > 20\text{G Sa/s}$ 。

[0070] 并且,在本发明实施例中, N_2 可以表示能够进行色散估计的最大范围,在本发明实施例中, $N_2 > N_1$ 。

[0071] 可选地,在本发明实施例中,该根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置,包括:

[0072] 根据预设的第一窗口,对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;

[0073] 根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0074] 具体地说,在确定 $R_2[n]$ 之后,对 $R_2[n]$ 进行滑动窗口平均处理(第一滑动平均处理),并且,作为示例而非限定,该滑动窗口平均处理的窗口宽度(记作 width_1)可以为例如, 3。在本发明实施例中,滑动窗口平均处理的方法与现有技术相同,这里,为了避免赘述,省略其说明。在对 $R_2[n]$ 进行滑动窗口平均处理后(以下,为了便于理解,将处理后生成的序列记作 $R_3[n]$),可以搜索 $R_3[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 b),并将该元素 b 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 b 在 $R_3[n]$ 中的序号(记作 n_2),从而,可以根据以下式 2 确定 n_1 ,即

$$[0075] \quad n_1 = n_2 + N_1 - 1 \quad \text{式 2}$$

[0076] 通过对该 $R_2[n]$ (第一自相关函数序列)进行滑动窗口平均处理,能够减少自相关函数中噪声的干扰,使确定的脉冲峰值的位置(脉冲位置)更加准确。以上列举的作为 width_1 的数值仅为本发明的一个示例性说明,并不限于此。

[0077] 可选地,在本发明实施例中,在确定 $R_2[n]$ 之后,也可以直接搜索 $R_2[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 c),并将该元素 c 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 c 在 $R_2[n]$ 中的序号(记作 n_3),从而,可以根据以下式 3 确定 n_1 ,即

$$[0078] \quad n_1 = n_3 + N_1 - 1 \quad \text{式 3}$$

[0079] 从而,在后述确定色散值时,根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说 n_1 的值,确定色散值(随后进行详细说明)。

[0080] 可选地,在本发明实施例中,该根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置,包括:

[0081] 根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,该第一序号是该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;

[0082] 根据该第一自相关函数序列和该第二窗口,确定第二自相关函数序列;

[0083] 根据该第二窗口,对该第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;

[0084] 根据该第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0085] 在本发明实施例中,可以将自相关函数中与产生的色散相对应的脉冲峰值的全宽半高(FWHM, Full Width Half Maximum)的一半,即,将脉冲峰值(最大值)的二分之一作为门限(后述第一门限),寻找脉冲宽度,再将脉冲宽度的例如,二分之一作为第二窗口,具体

地说,在确定 n_2 后,可以从 $R_2[n]$ 中,在以 n_2 为中心的预设范围(与第一预设值相对应,例如,可以为 5 个单位,这里,“单位”可以是单位序号)内,搜索数值最大的元素(记作元素 d),并根据该元素 d 的值,以确定第一门限,这里,作为示例而非限定,将该元素 d 的值的二分之一作为该第一门限,其后,以元素 d 为中心,向左侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 e),并记录该元素 e 的序号(记作 t_1);向右侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 f),并记录该元素 f 的序号(记作 t_2),可以根据以下式 4,确定滑动窗口宽度(第二窗口的一例,记作 $width_2$),即

$$[0086] \quad width_2 = \text{floor}\{(t_2 - t_1)/2\} - 1 \quad \text{式 4}$$

[0087] 其中, floor 为向下取整数函数。应理解,以上列举的以脉冲峰值(最大值)的二分之一作为门限,确定第二窗口的方式仅为本发明的一个示例性说明,本发明并不限于此。

[0088] 在确定了 $width_2$ (第二窗口)后,可以从该 $R_2[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第二自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_4[n]$),在本发明实施例中,可以将 $R_2[n]$ 作为 $R_4[n]$,也可以将 $\{R_2[N_3]:R_2[N_4]\}$ (即, $R_2[n]$ 中从序号为 N_3 的元素到序号为 N_4 的元素)作为 $R_4[n]$,其中, N_3 表示 $R_2[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_4 表示 $R_2[n]$ 中选取的结束位置(序号)。

[0089] 具体地说,可以根据以下式 5 确定 N_3 ,即:

$$[0090] \quad N_3 = t_1 - width_2 - 1 \quad \text{式 5}$$

[0091] 可以根据以下式 6 确定 N_4 ,即:

$$[0092] \quad N_4 = t_2 + width_2 + 1 \quad \text{式 6}$$

[0093] 在确定了 $R_4[n]$ 后,根据 $width_2$,对该 $R_4[n]$ 进行滑动平均处理(第二滑动平均处理),以下,为了便于理解,将处理后生成的序列记作 $R_5[n]$,可以搜索 $R_5[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 g),并将该元素 g 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 g 在 $R_5[n]$ 中的序号(记作 n_4),由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位),其中, SamplingInterval 表示采样间隔,从而,可以根据以下式 7 确定 n_1 ,即

$$[0094] \quad n_1 = n_4 + t_1 - width_2 + N_1 - 3 \quad \text{式 7}$$

[0095] 其中, $width_2 = \text{floor}\{(t_2 - t_1)/2\} - 1$ 。

[0096] 从而,在后述确定色散值时,根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说 n_1 的值,确定色散值(随后进行详细说明)。

[0097] 通过该 $R_2[n]$ (第一自相关函数序列)进行滑动窗口平均处理,能够减少自相关函数中噪声的干扰,使确定的脉冲峰值的位置(脉冲位置)更加准确。

[0098] 可选地,在本发明实施例中,该根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,包括:

[0099] 根据第一序号和第一预设值,从该第一自相关函数序列中确定第一范围,该第一范围以该第一序号为中心,该第一范围的大小与该第一预设值相对应;

[0100] 根据该第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从该第一自相关函数序列中确定第二范围,该第二范围以该第一元素的序号为中心,该第二范围的大小与该第二预设值相对应;

[0101] 根据该第一元素和该第二范围中数值第二大的第二元素,确定该第二窗口。

[0102] 具体地说,如果偏振模色散(PMD, Polarization Mode Dispersion)较大,则可能会出现一个自相关函数中的脉冲(峰值)分裂为两个脉冲(峰值)的情况,此情况下,如果仅以脉冲峰值(最大值)的位置为中心寻找脉冲宽度,则寻找到的脉冲宽度值会产生偏差,因此,在本发明实施例中,在确定 n_2 后,还可以从 $R_2[n]$ 中,在以 n_2 为中心的预设范围(即,第一范围,与第一预设值相对应,例如,可以为 5 个单位,这里为“单位”可以是单位序号)内,搜索数值最大的元素(即,元素 d)。

[0103] 其后,在以元素 d 在 $R_2[n]$ 中的序号为中心的预设范围(即,第二范围,与第二预设值相对应,例如,可以为 10 个单位,这里为“单位”可以为单位序号),搜索数值第二大的元素(记作元素 h)。

[0104] 其后,确定元素 d 与元素 h 在 $R_2[n]$ 中的位置关系,这里,为了便于理解,以元素 d 在元素 h 的右侧为例(即,元素 d 在 $R_2[n]$ 中的序号大于元素 h 在 $R_2[n]$ 中的序号)进行说明。

[0105] 其后,根据该元素 d 的值,以确定第一门限,这里,作为示例而非限定,将该元素 d 的值的二分之一作为该第一门限。

[0106] 其后,以元素 h 为中心,向左侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 i,并记录该元素 i 的序号(记作 t_3));以元素 d 为中心,向右侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 j),并记录该元素 j 的序号(记作 t_4),可以根据以下式 8,确定一个中间参量(记作 $width_3$),即

$$[0107] \quad Width_3 = \text{floor}\{(t_4 - t_3)/2\} - 1 \quad \text{式 8}$$

[0108] 其中, floor 为向下取整数函数。应理解,以上列举的以脉冲峰值(最大值)的二分之一作为门限,确定第二窗口的方式仅为本发明的一个示例性说明,本发明并不限于此。

[0109] 在确定了 $width_3$ 后,可以从该 $R_2[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第二自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_6[n]$),在本发明实施例中,可以将 $R_2[n]$ 作为 $R_6[n]$,也可以将 $\{R_2[N_5]:R_2[N_6]\}$ (即, $R_2[n]$ 中从序号为 N_5 的元素到序号为 N_6 的元素)作为 $R_6[n]$,其中, N_5 表示 $R_2[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_6 表示 $R_2[n]$ 中选取的结束位置(序号)。

[0110] 具体地说,可以根据以下式 9 确定 N_5 ,即:

$$[0111] \quad N_5 = t_3 - width_3 - 1 \quad \text{式 9}$$

[0112] 可以根据以下式 10 确定 N_6 ,即:

$$[0113] \quad N_6 = t_4 + width_3 + 1 \quad \text{式 10}$$

[0114] 在确定了 $R_6[n]$ 后,可以根据以下式 11,确定对 $R_6[n]$ 进行滑动平均处理时使用的窗口宽度(第二窗口的另一例,记作 $width_4$),即

$$[0115] \quad width_4 = 2 \times width_3 + 1 \quad \text{式 11}$$

[0116] 其后,对该 $R_6[n]$ 进行滑动平均处理(第二滑动平均处理),以下,为了便于理解,将处理后生成的序列记作 $R_7[n]$,可以从该 $R_7[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(以下,为了便于说明,记作 $R_8[n]$),在本发明实施例中,可以将 $R_7[n]$ 作为 $R_8[n]$,也可以将 $\{R_7[N_7]:R_7[N_8]\}$ (即, $R_7[n]$ 中从序号为 N_7 的元素到序号为 N_8 的元素)作为 $R_8[n]$,其中, N_7 表示 $R_7[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_8 表示 $R_7[n]$ 中选取的结束位置(序号)。

[0117] 具体地说,可以根据以下式 12 确定 N_7 ,即:

[0118] $N_7 = 2$ 式 12

[0119] 可以根据以下式 13 确定 N_8 , 即 :

[0120] $N_8 = t_4 - t_3 + 2 \times \text{width}_3 + 2$ 式 13

[0121] 在确定 $R_8[n]$ 后, 可以搜索 $R_8[n]$ 中数值最大的元素 (记作元素 k), 并记录该元素 k 在 $R_8[n]$ 中的序号 (记作 n_5)。

[0122] 可选地, 在本发明实施例中, 可以将该元素 k 的位置确定为脉冲峰值的位置, 由于自相关函数第一位对应 $\tau = 0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位), 其中, SamplingInterval 表示采样间隔, 从而, 可以根据以下式 14 确定 n_1 , 即

[0123] $n_1 = n_5 + t_3 - \text{width}_3 + N_1 - 3$ 式 14

[0124] 其中, $\text{Width}_3 = \text{floor} \{ (t_4 - t_3) / 2 \} - 1$

[0125] 从而, 在后述确定色散值时, 根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置, 或者说 n_1 的值, 确定色散值 (随后进行详细说明)。

[0126] 可选地, 在本发明实施例中, 在确定 n_5 后, 还可以利用 $R_8[n_5-1]$ 、 $R_8[n_5]$ 、 $R_8[n_5+1]$ 三点做抛物线拟合, 从而, 可以根据以下式 15, 确定该抛物线顶点在 $R_8[n]$ 中的位置 (序号, 记作 n_6), 即

$n_6 = n_5 + \frac{R_8[n_5-1] - R_8[n_5+1]}{2(R_8[n_5-1] + R_8[n_5+1] - 2R_8[n_5])}$ 式 15

[0127] 其后, 可以根据 n_6 和以下式 16, 确定该抛物线顶点在 $R_2[n]$ 中的位置 (序号), 即

$n_7 = n_5 + t_3 - \text{width}_3 - 2 + \frac{R_8[n_5-1] - R_8[n_5+1]}{2(R_8[n_5-1] + R_8[n_5+1] - 2R_8[n_5])}$ 式 16

[0128] 由于自相关函数第一位对应 $\tau = 0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位), 其中, SamplingInterval 表示采样间隔, 从而, 可以根据以下式 17 确定 n_1 , 即

$n_1 = n_5 + t_3 - \text{width}_3 + \frac{R_8[n_5-1] - R_8[n_5+1]}{2(R_8[n_5-1] + R_8[n_5+1] - 2R_8[n_5])} + N_1 - 3$ 式 17

[0129] 其中, $\text{width}_3 = \text{floor} \{ (t_4 - t_3) / 2 \} - 1$ 。

[0130] 从而, 在 S130 中, 根据在 S120 中确定的自相关函数中的脉冲峰值出现位置 (即, n_1), 确定目标光信号的色散值。

[0131] 在本发明实施例中, 根据该脉冲位置, 确定该目标光信号的色散值, 包括 :

[0132] 根据离线数据, 确定指示脉冲峰值位置与色散值的对应关系的指示信息,

[0133] 根据该脉冲位置和该指示信息, 确定该光信号的色散值。

[0134] 具体地说, 作为示例而非限定, 例如, 可以分别对多个光信号 (离线数据的一例) 进行色散值测试等试验, 记录各光信号的色散值和它们各自对应的自相关函数中脉冲峰值出现的位置, 作为训练数据, 从而, 可以采用例如期望最大化算法, 通过逐步改进公式的参数, 使参数和训练数据的似然概率逐渐增大, 最后终止于一个极大点。直观地理解, 期望最大化算法也可被看作为一个逐次逼近算法: 事先并不知道模型的参数, 可以随机的选择一套参数或者事先粗略地给定某个初始参数 λ_0 , 确定出对应于这组参数的最可能的状态, 计算每个训练样本的可能结果的概率, 在当前的状态下再由样本对参数修正, 重新估计参数 λ , 并在新的参数下重新确定模型的状态, 这样, 通过多次的迭代, 循环直至某个收敛条件满足为止, 就可以使得模型的参数逐渐逼近真实参数。因此, 该步骤可以以离线的方式自动进行。将离线计算得到的上述各种脉冲峰值位置与各自对应的色散值预先存储起来, 例如以表的

形式存储起来。应理解,以上列举的各公式以及各公式中的常数的训练方法仅是本发明的一个实施例,本发明并不限于此。

[0135] 作为示例而非限定,以下式 18 示出了色散值与自相关函数中脉冲峰值出现的位置的对应关系的一例,即 $CD = \left(x + \sqrt{x^2 - 4T_0^4}\right) \cdot \pi \cdot \frac{c}{\lambda^2}$ 式 18

$$[0136] \quad x = \frac{n}{2\pi \cdot \text{SamplingRate} \cdot \text{SymbolRate}}$$

[0137] 其中, CD 表示色散值, n 表示所述脉冲位置在该自相关函数序列中的序号, T_0 表示所述目标光信号的初始发射机光脉冲宽度, c 表示真空光速, λ 表示所述目标光信号的波长, SamplingRate 表示模数转换器的采样率, SymbolRate 表示所述目标光信号的符号速率。

[0138] 应理解,以上列举的各公式、参数以及数值仅为本发明的示例性说明,本发明并不限于此,其他能够用于确定光信号的自相关函数的脉冲峰值出现位置的各公式、参数以及数值均落入本发明的保护范围内。

[0139] 根据本发明实施例的色散估计的方法,通过获取目标光信号的光信号功率自相关函数,并确定该光信号功率自相关函数出现脉冲峰值的位置,能够在无需扫描所有可能的色散值的情况下,根据该出现脉冲峰值的位置确定目标光信号的色散值,到达快速估计信号的色散值的目的。

[0140] 上文中,结合图 1,详细描述了根据本发明实施例的色散估计的方法,下面将结合图 2,详细描述根据本发明实施例的色散估计的装置。

[0141] 图 2 示出了根据本发明实施例的色散估计的装置 200 的示意性框图。如图 2 所示,该装置可以包括:

[0142] 功率自相关处理单元 210,用于计算目标光信号的信号功率的自相关函数,并获取该自相关函数的自相关函数序列,以及向脉冲位置搜索单元 220 传输指示该自相关函数序列的信息;

[0143] 脉冲位置搜索单元 220,用于从该功率自相关处理单元 210 获取指示该自相关函数序列的信息,并根据该自相关函数序列,确定脉冲位置,该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的位置相对应,以及向色散值确定单元 230 传输指示该脉冲位置的信息;

[0144] 色散值确定单元 230,用于从该脉冲位置搜索单元 220 指示该脉冲位置的信息,并根据该脉冲位置,确定该目标光信号的色散值。

[0145] 在本发明实施例中,通过试验(例如,获取多个光信号的功率自相关函数,并获取该多个光信号的色散值)发现,在光信号(例如,单偏振的 PSK 信号、PDM 的 PSK 信号或 QAM 信号存在色散时,该光信号功率的自相关函数会出现一个脉冲峰值,并且,不同的脉冲峰值位置与不同的色散值之间存在映射对应关系,因此,在本发明实施例中,可以根据光信号的信号功率的自相关函数中脉冲峰值的位置,确定该光信号的色散值。

[0146] 因此,功率自相关处理单元 210 可以计算目标光信号的信号功率(光功率)的自相关函数。在本发明实施例中,目标光信号为需要估算色散的光信号。在本发明实施例中,可以对该目标光信号进行以下处理,以单偏振系统为例,在相干接收机中,目标光信号和本振光在 Hybrid 中混合,通过平衡接收机后转化为两路电流(同向电流和正交电流),经过两路 ADC 采样后,转换为数字信号,得到 I 信号和 Q 信号,从而,可以根据该 I 信号和 Q 信号来确

定目标光信号的信号功率的自相关函数。以下,作为示例而非限定,以该通过该 I 信号和 Q 信号确定目标光信号的信号功率的自相关函数为例进行说明。

[0147] 可选地,在本发明实施例中,在该目标光信号为非归零码格式信号的情况下,该装置还包括:

[0148] 第一干扰处理单元,用于对该目标光信号进行第一处理,以消除所述目标光信号的零频干扰。

[0149] 具体地说,零频干扰是指,在该目标光信号为非归零(NRZ, No ReturnZero)码格式的情况下,如果直接获取该格式的信号的自相关函数,则获取的自相关函数的零频位置会出现一个较大的峰值,从而对后述搜索脉冲峰值造成影响,因此,作为示例而非限定,在本发明实施例中,可以对 I 信号和 Q 信号进行延迟处理和相减处理,以实现对该目标光信号的高通滤波,其中,该延迟处理使用的延迟大小可以为例如,一个符号周期。从而,能够避免获取的自相关函数在零频位置出现较大的峰值。

[0150] 可选地,在本发明实施例中,该装置还包括:

[0151] 第二干扰处理单元,用于对该目标光信号进行第二处理,以消除该目标光信号的直流分量干扰。

[0152] 具体地说,作为示例而非限定,第二干扰处理单元可以对 I 信号和 Q 信号(具体地说,是与该 I 信号相对应的 I 信号序列以及与该 Q 信号相对应的 Q 信号序列)进行求平方和处理,然后用经过该求平方和处理后的信号减去信号均值,其中,作为示例而非限定,该信号均值可以通过以下方法确定,即,可以获取与该 I 信号相对应的 I 信号序列,以及与该 Q 信号相对应的 Q 信号序列,其后,对 I 信号序列和 Q 信号序列求和,然后除以 I 信号序列和 Q 信号序列的长度,从而确定该信号均值。通过以上处理,能够实现对该目标光信号的隔直处理,从而能够去掉直流分量产生的无用的自相关函数部分。

[0153] 其后,功率自相关处理单元 210 可以对经过上述处理的目标光信号进行傅里叶变换,再做幅度平方,最后进行逆傅里叶变换,得到该目标光信号的信号功率的自相关函数,进而可以根据该自相关函数,生成以该自相关函数的各函数值为元素的自相关函数序列(以下,为了便于说明,记作 $R_1[n]$)

[0154] 脉冲位置搜索单元 220 可以从该 $R_1[n]$ 中搜索脉冲峰值的位置,即,确定该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的序号。

[0155] 可选地,在本发明实施例中,脉冲位置搜索单元 220 可以搜索 $R_1[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 a),并将该元素 a 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 a 的序号,以在后述色散值确定单元 230 确定色散值时,根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说元素 a 在 $R_1[n]$ 中的序号(记作 n_1),确定色散值(随后进行详细说明)。

[0156] 可选地,在本发明实施例中,该脉冲位置搜索单元 220 具体用于根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,该第一自相关函数序列包括与该脉冲峰值相对应的元素;

[0157] 用于根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0158] 具体地说,在本发明实施例中,脉冲位置搜索单元 220 可以从该 $R_1[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第一自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_2[n]$),并且,在本发明实施例中,脉冲位置搜索单元 220 可以将 $R_1[n]$ 作为 $R_2[n]$,也可以将 $\{R_1[N_1]:R_1[N_2]\}$

(即, $R_1[n]$ 中从序号为 N_1 的元素到序号为 N_2 的元素) 作为 $R_2[n]$, 其中, N_1 表示 $R_1[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_2 表示 $R_1[n]$ 中选取的结束位置(序号)。

[0159] 可选地, 在本发明实施例中, 该脉冲位置搜索单元 220 具体用于根据用于获取该目标光信号的相干接收机的电带宽和用于获取该目标光信号的高速模数转换器的采样率, 从该自相关函数序列中确定选取该第一自相关函数序列的开始位置。

[0160] 具体地说, 脉冲位置搜索单元 220 可以根据式 1 确定 N_1 。

[0161] 可选地, 在本发明实施例中, 该脉冲位置搜索单元 220 具体用于根据预设的第一窗口, 对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;

[0162] 用于根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列, 确定该脉冲位置。

[0163] 具体地说, 脉冲位置搜索单元 220 在确定 $R_2[n]$ 之后, 可以对 $R_2[n]$ 进行滑动窗口平均处理(第一滑动平均处理), 并且, 作为示例而非限定, 该滑动窗口平均处理的窗口宽度(记作 $width_1$) 可以为例如, 3。在本发明实施例中, 滑动窗口平均处理的方法与现有技术相同, 这里, 为了避免赘述, 省略其说明。在对 $R_2[n]$ 进行滑动窗口平均处理后(以下, 为了便于理解, 将处理后生成的序列记作 $R_3[n]$), 可以搜索 $R_3[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 b), 并将该元素 b 的位置确定为脉冲峰值的位置, 并可以记录该元素 b 在 $R_3[n]$ 中的序号(记作 n_2), 从而, 可以根据式 2 确定 n_1 。

[0164] 通过对该 $R_2[n]$ (第一自相关函数序列)进行滑动窗口平均处理, 能够减少自相关函数中噪声的干扰, 使确定的脉冲峰值的位置(脉冲位置)更加准确。以上列举的作为 $width_1$ 的数值仅为本发明的一个示例性说明, 并不限于此。

[0165] 可选地, 在本发明实施例中, 在确定 $R_2[n]$ 之后, 脉冲位置搜索单元 220 也可以直接搜索 $R_2[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 c), 并将该元素 c 的位置确定为脉冲峰值的位置, 并可以记录该元素 c 在 $R_2[n]$ 中的序号(记作 n_3), 从而, 可以根据式 3 确定 n_1 。

[0166] 从而, 在后述确定色散值时, 色散值确定单元 230 可以根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置, 或者说 n_1 的值, 确定色散值(随后进行详细说明)。

[0167] 可选地, 在本发明实施例中, 该脉冲位置搜索单元 220 具体用于根据第一序号和第一预设值, 确定第二窗口, 该第一序号是该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;

[0168] 用于根据该第一自相关函数序列和该第二窗口, 确定第二自相关函数序列;

[0169] 用于根据该第二窗口, 对该第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;

[0170] 用于根据该第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列, 确定该脉冲位置。

[0171] 在本发明实施例中, 脉冲位置搜索单元 220 例如, 可以将自相关函数中与产生的色散相对应的脉冲峰值的 FWHM 的一半, 即, 将脉冲峰值(最大值)的二分之一作为门限(后述第一门限), 寻找脉冲宽度, 再将脉冲宽度的例如, 二分之一作为第二窗口, 具体地说, 在确定 n_2 后, 可以从 $R_2[n]$ 中, 在以 n_2 的中心的预设范围(与第一预设值相对应, 例如, 可以为 5 个单位, 这里“单位”可以是单位序号)内, 搜索数值最大的元素(记作元素 d), 并根据该元素 d 的值, 以确定第一门限, 这里, 作为示例而非限定, 将该元素 d 的值的二分之一作为该第一门限, 其后, 以元素 d 为中心, 向左侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 e), 并记录该元素 e 的序号(记作 t_1); 向右侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 f), 并记录该元素 f 的序号(记作 t_2), 可以根据式 4, 确定滑动窗口宽度(第二窗口的一例,

记作 $width_2$)。

[0172] 在确定了 $width_2$ (第二窗口)后,脉冲位置搜索单元 220 可以从该 $R_2[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第二自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_4[n]$),在本发明实施例中,可以将 $R_2[n]$ 作为 $R_4[n]$,也可以将 $\{R_2[N_3]:R_2[N_4]\}$ (即, $R_2[n]$ 中从序号为 N_3 的元素到序号为 N_4 的元素)作为 $R_4[n]$,其中, N_3 表示 $R_2[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_4 表示 $R_2[n]$ 中选取的结束位置(序号)。具体地说,脉冲位置搜索单元 220 可以根据式 5 确定 N_3 ,并可以根据式 6 确定 N_4 。

[0173] 在确定了 $R_4[n]$ 后,脉冲位置搜索单元 220 根据 $width_2$,对该 $R_4[n]$ 进行滑动平均处理(第二滑动平均处理),以下,为了便于理解,将处理后生成的序列记作 $R_5[n]$,可以搜索 $R_5[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 g),并将该元素 g 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 g 在 $R_5[n]$ 中的序号(记作 n_1),由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位),其中, SamplingInterval 表示采样间隔,从而,可以根据式 7 确定 n_1 。

[0174] 从而,在后述确定色散值时,色散值确定单元 230 可以根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说 n_1 的值,确定色散值(随后进行详细说明)。

[0175] 通过对该 $R_2[n]$ (第一自相关函数序列)进行滑动窗口平均处理,能够减少自相关函数中噪声的干扰,使确定的脉冲峰值的位置(脉冲位置)更加准确。

[0176] 可选地,在本发明实施例中,该脉冲位置搜索单元 220 具体用于根据第一序号和第一预设值,从该第一自相关函数序列中确定第一范围,该第一范围以该第一序号为中心,该第一范围的大小与该第一预设值相对应;

[0177] 用于根据该第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从该第一自相关函数序列中确定第二范围,该第二范围以该第一元素的序号为中心,该第二范围的大小与该第二预设值相对应;

[0178] 用于根据该第一元素和该第二范围中数值第二大的第二元素,确定该第二窗口。

[0179] 具体地说,如果 PMD 较大,则可能会出现一个自相关函数中的脉冲(峰值)分裂为两个脉冲(峰值)的情况,此情况下,如果仅以脉冲峰值(最大值)的位置为中心寻找脉冲宽度,则寻找到的脉冲宽度值会产生偏差,因此,在本发明实施例中,脉冲位置搜索单元 220 在确定 n_2 后,还可以从 $R_2[n]$ 中,在以 n_2 为中心的预设范围(即,第一范围,与第一预设值相对应,例如,可以为 5 个单位)内,搜索数值最大的元素(即,元素 d)。

[0180] 其后,在以元素 d 在 $R_2[n]$ 中的序号为中心的预设范围(即,第二范围,与第二预设值相对应,例如,可以为 10 个单位)内,搜索数值第二大的元素(记作元素 h)。

[0181] 其后,确定元素 d 与元素 h 在 $R_2[n]$ 中的位置关系,这里,为了便于理解,以元素 d 在元素 h 的右侧为例(即,元素 d 在 $R_2[n]$ 中的序号大于元素 h 在 $R_2[n]$ 中的序号)进行说明。

[0182] 其后,根据该元素 d 的值,以确定第一门限,这里,作为示例而非限定,将该元素 d 的值的二分之一作为该第一门限。

[0183] 其后,以元素 h 为中心,向左侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 i ,并记录该元素 i 的序号(记作 t_3));以元素 d 为中心,向右侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 j),并记录该元素 j 的序号(记作 t_4),可以根据式 8,确定一个中间参量

(记作 width_3)。

[0184] 脉冲位置搜索单元 220 在确定了 width_3 后, 可以从该 $R_2[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即, 第二自相关函数序列, 以下, 为了便于说明, 记作 $R_6[n]$), 在本发明实施例中, 可以将 $R_2[n]$ 作为 $R_6[n]$, 也可以将 $\{R_2[N_5]:R_2[N_6]\}$ (即, $R_2[n]$ 中从序号为 N_5 的元素到序号为 N_6 的元素) 作为 $R_6[n]$, 其中, N_5 表示 $R_2[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_6 表示 $R_2[n]$ 中选取的结束位置(序号)。具体地说, 脉冲位置搜索单元 220 可以根据式 9 确定 N_5 , 并可以根据式 10 确定 N_6 。

[0185] 脉冲位置搜索单元 220 在确定了 $R_6[n]$ 后, 可以根据式 11, 确定对 $R_6[n]$ 进行滑动平均处理时使用的窗口宽度(第二窗口的另一例, 记作 width_4)。

[0186] 其后, 脉冲位置搜索单元 220 对该 $R_6[n]$ 进行滑动平均处理(第二滑动平均处理), 以下, 为了便于理解, 将处理后生成的序列记作 $R_7[n]$, 可以从该 $R_7[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(以下, 为了便于说明, 记作 $R_8[n]$), 在本发明实施例中, 可以将 $R_7[n]$ 作为 $R_8[n]$, 也可以将 $\{R_7[N_7]:R_7[N_8]\}$ (即, $R_7[n]$ 中从序号为 N_7 的元素到序号为 N_8 的元素) 作为 $R_8[n]$, 其中, N_7 表示 $R_7[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_8 表示 $R_7[n]$ 中选取的结束位置(序号)。具体地说, 脉冲位置搜索单元 220 可以根据式 12 确定 N_7 , 并可以根据式 13 确定 N_8 。

[0187] 脉冲位置搜索单元 220 在确定 $R_8[n]$ 后, 可以搜索 $R_8[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 k), 并记录该元素 k 在 $R_8[n]$ 中的序号(记作 n_5)。

[0188] 在本发明实施例中, 可以将该元素 k 的位置确定为脉冲峰值的位置, 由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位), 其中, SamplingInterval 表示采样间隔, 从而, 脉冲位置搜索单元 220 可以根据式 14 确定 n_1 。

[0189] 从而, 在后述色散值确定单元 230 确定色散值时, 根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置, 或者说 n_1 的值, 确定色散值(随后进行详细说明)。

[0190] 可选地, 在本发明实施例中, 脉冲位置搜索单元 220 在确定 n_5 后, 还可以利用 $R_8[n_5-1]$ 、 $R_8[n_5]$ 、 $R_8[n_5+1]$ 三点做抛物线拟合, 从而, 可以根据式 15, 确定该抛物线顶点在 $R_8[n]$ 中的位置(序号, 记作 n_6)。

[0191] 其后, 脉冲位置搜索单元 220 可以根据 n_6 和式 16, 确定该抛物线顶点在 $R_2[n]$ 中的位置(序号)。

[0192] 由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位), 其中, SamplingInterval 表示采样间隔, 从而, 可以根据式 17 确定 n_1 。

[0193] 从而, 色散值确定单元 230 可以根据脉冲位置搜索单元 220 确定的自相关函数中的脉冲峰值出现位置(即, n_1), 确定目标光信号的色散值。

[0194] 在本发明实施例中, 该色散值确定单元 230 具体用于根据离线数据, 确定指示脉冲峰值位置与色散值的对应关系的指示信息,

[0195] 根据该脉冲位置和该指示信息, 确定该光信号的色散值。

[0196] 具体地说, 作为示例而非限定, 例如, 色散值确定单元 230 可以分别对多个光信号(离线数据的一例)进行色散值测试等试验, 记录各光信号的色散值和它们各自对应的自相关函数中脉冲峰值出现的位置, 作为训练数据, 从而, 可以采用例如期望最大化算法, 通过逐步改进公式的参数, 使参数和训练数据的似然概率逐渐增大, 最后终止于一个极大点。直观地理解, 期望最大化算法也可被看作为一个逐次逼近算法: 事先并不知道模型的参数, 可

以随机的选择一套参数或者事先粗略地给定某个初始参数 λ_0 , 确定出对应于这组参数的最可能的状态, 计算每个训练样本的可能结果的概率, 在当前的状态下再由样本对参数修正, 重新估计参数 λ , 并在新的参数下重新确定模型的状态, 这样, 通过多次的迭代, 循环直至某个收敛条件满足为止, 就可以使得模型的参数逐渐逼近真实参数。因此, 该步骤可以以离线的方式自动进行。将离线计算得到的上述各种脉冲峰值位置与各自对应的色散值预先存储起来, 例如以表的形式存储起来。应理解, 以上列举的各公式以及各公式中的常数的训练方法仅是本发明的一个实施例, 本发明并不限于此。

[0197] 作为示例而非限定, 色散值确定单元 230 可以根据式 18 确定色散值。

[0198] 应理解, 以上列举的各公式、参数以及数值仅为本发明的示例性说明, 本发明并不限于此, 其他能够用于确定光信号的自相关函数的脉冲峰值出现位置的各公式、参数以及数值均落入本发明的保护范围内。

[0199] 根据本发明实施例的色散估计的装置可对应于本发明实施例的色散估计的方法的执行主体, 并且, 该色散估计的装置中的各单元和上述其他操作和 / 或功能分别为了实现图 1 中的方法 100 的相应流程, 为了简洁, 在此不再赘述。

[0200] 根据本发明实施例的色散估计的装置, 通过获取目标光信号的光信号功率自相关函数, 并确定该光信号功率自相关函数出现脉冲峰值的位置, 能够在无需扫描所有可能的色散值的情况下, 根据该出现脉冲峰值的位置确定目标光信号的色散值, 到达快速估计信号的色散值的目的。

[0201] 上文中, 结合图 1 和图 2, 详细描述了根据本发明实施例的色散估计的方法和装置, 下面将结合图 3, 详细描述根据本发明实施例的色散估计的系统。

[0202] 图 3 示出了根据本发明实施例的色散估计的装置 300 的示意性框图。如图 3 所示, 该系统可以包括:

[0203] 总线 310;

[0204] 与该总线相连的处理器 320;

[0205] 与该总线相连的存储器 330;

[0206] 其中, 该处理器 320 通过该总线, 调用该存储器 330 中存储的程序, 以用于计算目标光信号的信号功率的自相关函数, 并获取该自相关函数的自相关函数序列;

[0207] 根据该自相关函数序列, 确定脉冲位置, 该脉冲位置与该自相关函数的脉冲峰值的出现位置相对应;

[0208] 根据该脉冲位置, 确定该目标光信号的色散值。

[0209] 在本发明实施例中, 通过试验(例如, 获取多个光信号的功率自相关函数, 并获取该多个光信号的色散值)发现, 在光信号(例如, 单偏振的 PSK 信号、PDM 的 PSK 信号或 QAM 信号存在色散时, 该光信号功率的自相关函数会出现一个脉冲峰值, 并且, 不同的脉冲峰值位置与不同的色散值之间存在映射对应关系, 因此, 在本发明实施例中, 可以根据光信号的信号功率的自相关函数中脉冲峰值的位置, 确定该光信号的色散值。

[0210] 因此, 处理器 320 可以计算目标光信号的信号功率(光功率)的自相关函数。在本发明实施例中, 目标光信号为需要估算色散的光信号。在本发明实施例中, 可以对该目标光信号进行以下处理, 以单偏振系统为例, 在相干接收机中, 目标光信号和本振光在 Hybrid 中混合, 通过平衡接收机后转化为两路电流(同向电流和正交电流), 经过两路 ADC 采样后,

转换为数字信号,得到 I 信号和 Q 信号,从而,可以根据该 I 信号和 Q 信号来确定目标光信号的信号功率的自相关函数。以下,作为示例而非限定,以该通过该 I 信号和 Q 信号确定目标光信号的信号功率的自相关函数为例进行说明。。

[0211] 可选地,在本发明实施例中,在该目标光信号为非归零码格式信号的情况下,该处理器 320 通过该总线 310,调用该存储器 330 中存储的程序,以消除所述目标光信号的零频干扰。

[0212] 具体地说,零频干扰是指,在该目标光信号为非归零(NRZ, No ReturnZero)码格式的情况下,如果直接获取该格式的信号的自相关函数,则获取的自相关函数的零频位置会出现一个较大的峰值,从而对后述搜索脉冲峰值造成影响,因此,作为示例而非限定,在本发明实施例中,可以对 I 信号和 Q 信号进行延迟处理和相减处理,以实现对该目标光信号的高通滤波,其中,该延迟处理使用的延迟大小可以为例如,一个符号周期。从而,能够避免获取的自相关函数在零频位置出现较大的峰值。

[0213] 可选地,在本发明实施例中,该处理器 320 通过该总线 310,调用该存储器 330 中存储的程序,以用于对该目标光信号进行第二处理,以消除该目标光信号的直流分量干扰。

[0214] 具体地说,作为示例而非限定,处理器 320 可以对 I 信号和 Q 信号(具体地说,是与该 I 信号相对应的 I 信号序列以及与该 Q 信号相对应的 Q 信号序列)进行求平方和处理,然后用经过该求平方和处理后的信号减去信号均值,其中,作为示例而非限定,该信号均值可以通过以下方法确定,即,可以获取与该 I 信号相对应的 I 信号序列,以及与该 Q 信号相对应的 Q 信号序列,其后,对 I 信号序列和 Q 信号序列求和,然后除以 I 信号序列和 Q 信号序列的长度,从而确定该信号均值。通过以上处理,能够实现对该目标光信号的隔直处理,从而能够去掉直流分量产生的无用的自相关函数部分。

[0215] 其后,处理器 320 可以对经过上述处理的目标光信号进行傅里叶变换,再做幅度平方,最后进行逆傅里叶变换,得到该目标光信号的信号功率的自相关函数,进而可以根据该自相关函数,生成以该自相关函数的各函数值为元素的自相关函数序列(以下,为了便于说明,记作 $R_1[n]$)

[0216] 处理器 320 可以从该 $R_1[n]$ 中搜索脉冲峰值的位置,即,确定该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的序号。

[0217] 可选地,在本发明实施例中处理器 320 可以搜索 $R_1[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 a),并将该元素 a 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 a 的序号,以在后述色散值确定单元 230 确定色散值时,根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说元素 a 在 $R_1[n]$ 中的序号(记作 n_1),确定色散值(随后进行详细说明)。

[0218] 可选地,在本发明实施例中,该处理器 320 通过该总线 310,调用该存储器 330 中存储的程序,以具体用于根据该自相关函数序列,确定第一自相关函数序列,该第一自相关函数序列包括与该脉冲峰值相对应的元素;

[0219] 根据该第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0220] 具体地说,在本发明实施例中,处理器 320 可以从该 $R_1[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第一自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_2[n]$),并且,在本发明实施例中,处理器 320 可以将 $R_1[n]$ 作为 $R_2[n]$,也可以将 $\{R_1[N_1]:R_1[N_2]\}$ (即, $R_1[n]$ 中从序号为 N_1 的元素到序号为 N_2 的元素)作为 $R_2[n]$,其中, N_1 表示 $R_1[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_2

表示 $R_1[n]$ 中选取的结束位置(序号)。

[0221] 可选地,在本发明实施例中,处理器 320 具体用于根据用于获取该目标光信号的相干接收机的电带宽和用于获取该目标光信号的高速模数转换器的采样率,从该自相关函数序列中确定选取该第一自相关函数序列的开始位置。

[0222] 具体地说,处理器 320 可以根据式 1 确定 N_1 。

[0223] 可选地,在本发明实施例中,该处理器 320 通过该总线 310,调用该存储器 330 中存储的程序,以具体用于根据预设的第一窗口,对第一自相关函数序列进行第一滑动平均处理;

[0224] 用于根据该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0225] 具体地说,处理器 320 在确定 $R_2[n]$ 之后,可以对 $R_2[n]$ 进行滑动窗口平均处理(第一滑动平均处理),并且,作为示例而非限定,该滑动窗口平均处理的窗口宽度(记作 $width_1$)可以为例如,3。在本发明实施例中,滑动窗口平均处理的方法与现有技术相同,这里,为了避免赘述,省略其说明。在对 $R_2[n]$ 进行滑动窗口平均处理后(以下,为了便于理解,将处理后生成的序列记作 $R_3[n]$),可以搜索 $R_3[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 b),并将该元素 b 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 b 在 $R_3[n]$ 中的序号(记作 n_2),从而,可以根据式 2 确定 n_1 。

[0226] 通过对该 $R_2[n]$ (第一自相关函数序列)进行滑动窗口平均处理,能够减少自相关函数中噪声的干扰,使确定的脉冲峰值的位置(脉冲位置)更加准确。以上列举的作为 $width_1$ 的数值仅为本发明的一个示例性说明,并不限于此。

[0227] 可选地,在本发明实施例中,在确定 $R_2[n]$ 之后,处理器 320 也可以直接搜索 $R_2[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 c),并将该元素 c 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 c 在 $R_2[n]$ 中的序号(记作 n_3),从而,可以根据式 3 确定 n_1 。

[0228] 从而,在后述确定色散值时,处理器 320 可以根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说 n_1 的值,确定色散值(随后进行详细说明)。

[0229] 可选地,在本发明实施例中,该处理器 320 通过该总线 310,调用该存储器 330 中存储的程序,以具体用于根据第一序号和第一预设值,确定第二窗口,该第一序号是该第一滑动平均处理后的第一自相关函数序列中数值最大的元素的序号;

[0230] 用于根据该第一自相关函数序列和该第二窗口,确定第二自相关函数序列;

[0231] 用于根据该第二窗口,对该第二自相关函数序列进行第二滑动平均处理;

[0232] 用于根据该第二滑动平均处理后的第二自相关函数序列,确定该脉冲位置。

[0233] 在本发明实施例中,处理器 320 例如,可以将自相关函数中与产生的色散相对应的脉冲峰值的 FWHM 的一半,即,将脉冲峰值(最大值)的二分之一作为门限(后述第一门限),寻找脉冲宽度,再将脉冲宽度的例如,二分之一作为第二窗口,具体地说,在确定 n_2 后,可以从 $R_2[n]$ 中,在以 n_2 为中心的预设范围(即,第一范围,例如,可以为 5 个单位,这里“单位”可以是单位序号)内,搜索数值最大的元素(记作元素 d),并根据该元素 d 的值,以确定第一门限,这里,作为示例而非限定,将该元素 d 的值的二分之一作为该第一门限,其后,以元素 d 为中心,向左侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 e),并记录该元素 e 的序号(记作 t_1);向右侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 f),并记录该元素 f 的序号(记作 t_2),可以根据式 4,确定滑动窗口宽度(第二窗口的一例,记作 $width_2$)。

[0234] 处理器 320 在确定了 width_2 (第二窗口)后,可以从该 $R_2[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围(即,第二自相关函数序列,以下,为了便于说明,记作 $R_4[n]$),在本发明实施例中,可以将 $R_2[n]$ 作为 $R_4[n]$,也可以将 $\{R_2[N_3]:R_2[N_4]\}$ (即, $R_2[n]$ 中从序号为 N_3 的元素到序号为 N_4 的元素)作为 $R_4[n]$,其中, N_3 表示 $R_2[n]$ 中选取的开始位置(序号), N_4 表示 $R_2[n]$ 中选取的结束位置(序号)。具体地说,处理器 320 可以根据式 5 确定 N_3 ,并可以根据式 6 确定 N_4 。

[0235] 处理器 320 在确定了 $R_4[n]$ 后,可以根据 width_2 ,对该 $R_4[n]$ 进行滑动平均处理(第二滑动平均处理),以下,为了便于理解,将处理后生成的序列记作 $R_5[n]$,可以搜索 $R_5[n]$ 中数值最大的元素(记作元素 g),并将该元素 g 的位置确定为脉冲峰值的位置,并可以记录该元素 g 在 $R_5[n]$ 中的序号(记作 n_4),由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位),其中, SamplingInterval 表示采样间隔,从而,处理器 320 可以根据式 7 确定 n_1 。

[0236] 从而,处理器 320 在后述确定色散值时,可以根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置,或者说 n_1 的值,确定色散值(随后进行详细说明)。

[0237] 通过该 $R_2[n]$ (第一自相关函数序列)进行滑动窗口平均处理,能够减少自相关函数中噪声的干扰,使确定的脉冲峰值的位置(脉冲位置)更加准确。

[0238] 可选地,在本发明实施例中,该处理器 320 通过该总线 310,调用该存储器 330 中存储的程序,以具体用于根据第一序号和第一预设值,从该第一自相关函数序列中确定第一范围,该第一范围以该第一序号为中心,该第一范围的大小与该第一预设值相对应;

[0239] 用于根据该第一范围中数值最大的第一元素和第二预设值,从该第一自相关函数序列中确定第二范围,该第二范围以该第一元素的序号为中心,该第二范围的大小与该第二预设值相对应;

[0240] 用于根据该第一元素和该第二范围中数值第二大的第二元素,确定该第二窗口。

[0241] 具体地说,如果 PMD 较大,则可能会出现一个自相关函数中的脉冲(峰值)分裂为两个脉冲(峰值)的情况,此情况下,如果仅以脉冲峰值(最大值)的位置为中心寻找脉冲宽度,则寻找到的脉冲宽度值会产生偏差,因此,在本发明实施例中,处理器 320 在确定 n_2 后,还可以从 $R_2[n]$ 中,在以 n_2 为中心的预设范围(即,第一范围,与第一预设值相对应,例如,可以为 5 个单位)内,搜索数值最大的元素(即,元素 d)。

[0242] 其后,在以元素 d 在 $R_2[n]$ 中的序号为中心的的预设范围(即,第二范围,与第二预设值相对应,例如,可以为 10 个单位,这里为单位序号),搜索数值第二大的元素(记作元素 h)。

[0243] 其后,确定元素 d 与元素 h 在 $R_2[n]$ 中的位置关系,这里,为了便于理解,以元素 d 在元素 h 的右侧为例(即,元素 d 在 $R_2[n]$ 中的序号大于元素 h 在 $R_2[n]$ 中的序号)进行说明。

[0244] 其后,根据该元素 d 的值,以确定第一门限,这里,作为示例而非限定,将该元素 d 的值的二分之一作为该第一门限。

[0245] 其后,以元素 h 为中心,向左侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 i ,并记录该元素 i 的序号(记作 t_3));以元素 d 为中心,向右侧搜索第一个数值小于该第一门限的元素(记作元素 j),并记录该元素 j 的序号(记作 t_4),可以根据式 8,确定一个中间参量(记作 width_3)。

[0246] 处理器 320 在确定了 width_3 后, 可以从该 $R_2[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围 (即, 第二自相关函数序列, 以下, 为了便于说明, 记作 $R_6[n]$), 在本发明实施例中, 可以将 $R_2[n]$ 作为 $R_6[n]$, 也可以将 $\{R_2[N_5]:R_2[N_6]\}$ (即, $R_2[n]$ 中从序号为 N_5 的元素到序号为 N_6 的元素) 作为 $R_6[n]$, 其中, N_5 表示 $R_2[n]$ 中选取的开始位置 (序号), N_6 表示 $R_2[n]$ 中选取的结束位置 (序号)。具体地说, 处理器 320 可以根据式 9 确定 N_5 , 并可以根据式 10 确定 N_6 。

[0247] 脉冲位置搜索单元 220 在确定了 $R_6[n]$ 后, 可以根据式 11, 确定对 $R_6[n]$ 进行滑动平均处理时使用的窗口宽度 (第二窗口的另一例, 记作 width_4)。

[0248] 其后, 处理器 320 对该 $R_6[n]$ 进行滑动平均处理 (第二滑动平均处理), 以下, 为了便于理解, 将处理后生成的序列记作 $R_7[n]$, 可以从该 $R_7[n]$ 中选取一个区间作为搜索范围 (以下, 为了便于说明, 记作 $R_8[n]$), 在本发明实施例中, 可以将 $R_7[n]$ 作为 $R_8[n]$, 也可以将 $\{R_7[N_7]:R_7[N_8]\}$ (即, $R_7[n]$ 中从序号为 N_7 的元素到序号为 N_8 的元素) 作为 $R_8[n]$, 其中, N_7 表示 $R_7[n]$ 中选取的开始位置 (序号), N_8 表示 $R_7[n]$ 中选取的结束位置 (序号)。具体地说, 脉冲位置搜索单元 220 可以根据式 12 确定 N_7 , 并可以根据式 13 确定 N_8 。

[0249] 处理器 320 在确定 $R_8[n]$ 后, 可以搜索 $R_8[n]$ 中数值最大的元素 (记作元素 k), 并记录该元素 k 在 $R_8[n]$ 中的序号 (记作 n_5)。

[0250] 在本发明实施例中, 处理器 320 可以将该元素 k 的位置确定为脉冲峰值的位置, 由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位), 其中, SamplingInterval 表示采样间隔, 从而, 处理器 320 可以根据式 14 确定 n_1 。

[0251] 从而, 在后述处理器 320 确定色散值时, 根据该脉冲峰值在 $R_1[n]$ 中的位置, 或者说 n_1 的值, 确定色散值 (随后进行详细说明)。

[0252] 可选地, 在本发明实施例中, 处理器 320 在确定 n_5 后, 还可以利用 $R_8[n_5-1]$ 、 $R_8[n_5]$ 、 $R_8[n_5+1]$ 三点做抛物线拟合, 从而, 可以根据式 15, 确定该抛物线顶点在 $R_8[n]$ 中的位置 (序号, 记作 n_6)。

[0253] 其后, 处理器 320 可以根据 n_6 和式 16, 确定该抛物线顶点在 $R_2[n]$ 中的位置 (序号)。

[0254] 由于自相关函数第一位对应 $\tau=0$, $R[n]$ 对应延迟为 $(n-1) \cdot \text{SamplingInterval}$ (修正一位), 其中, SamplingInterval 表示采样间隔, 从而, 可以根据式 17 确定 n_1 。

[0255] 从而, 处理器 320 可以根据所确定的自相关函数中的脉冲峰值出现位置 (即, n_1), 确定目标光信号的色散值。

[0256] 在本发明实施例中, 处理器 320 根据离线数据, 确定指示脉冲峰值位置与色散值的对应关系的指示信息,

[0257] 根据该脉冲位置和该指示信息, 确定该光信号的色散值。

[0258] 具体地说, 作为示例而非限定, 例如, 处理器 320 可以分别对多个光信号 (离线数据的一例) 进行色散值测试等试验, 记录各光信号的色散值和它们各自对应的自相关函数中脉冲峰值出现的位置, 作为训练数据, 从而, 可以采用例如期望最大化算法, 通过逐步改进公式的参数, 使参数和训练数据的似然概率逐渐增大, 最后终止于一个极大点。直观地理解, 期望最大化算法也可被看作为一个逐次逼近算法: 事先并不知道模型的参数, 可以随机的选择一套参数或者事先粗略地给定某个初始参数 λ_0 , 确定出对应于这组参数的最可能的状态, 计算每个训练样本的可能结果的概率, 在当前的状态下再由样本对参数修正, 重新

估计参数 λ ，并在新的参数下重新确定模型的状态，这样，通过多次的迭代，循环直至某个收敛条件满足为止，就可以使得模型的参数逐渐逼近真实参数。因此，该步骤可以以离线的方式自动进行。将离线计算得到的上述各种脉冲峰值位置与各自对应的色散值预先存储起来，例如以表的形式存储起来。应理解，以上列举的各公式以及各公式中的常数的训练方法仅是本发明的一个实施例，本发明并不限于此。

[0259] 作为示例而非限定，处理器 320 可以根据式 18 确定色散值。

[0260] 应理解，以上列举的各公式、参数以及数值仅为本发明的示例性说明，本发明并不限于此，其他能够用于确定光信号的自相关函数的脉冲峰值出现位置的各公式、参数以及数值均落入本发明的保护范围内。

[0261] 根据本发明实施例的色散估计的系统可对应于本发明实施例的色散估计的方法的执行主体，并且，该色散估计的装置中的各单元和上述其他操作和 / 或功能分别为了实现图 1 中的方法 100 的相应流程，为了简洁，在此不再赘述。

[0262] 根据本发明实施例的色散估计的系统，通过获取目标光信号的光信号功率自相关函数，并确定该光信号功率自相关函数出现脉冲峰值的位置，能够在无需扫描所有可能的色散值的情况下，根据该出现脉冲峰值的位置确定目标光信号的色散值，到达快速估计信号的色散值的目的。应理解，在本发明的各种实施例中，上述各过程的序号的大小并不意味着执行顺序的先后，各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定，而不应对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0263] 本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0264] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统、装置和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

[0265] 在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的系统、装置和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

[0266] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0267] 另外，在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

[0268] 所述功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明的技术方案本质上或者说

对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U 盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0269] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

100

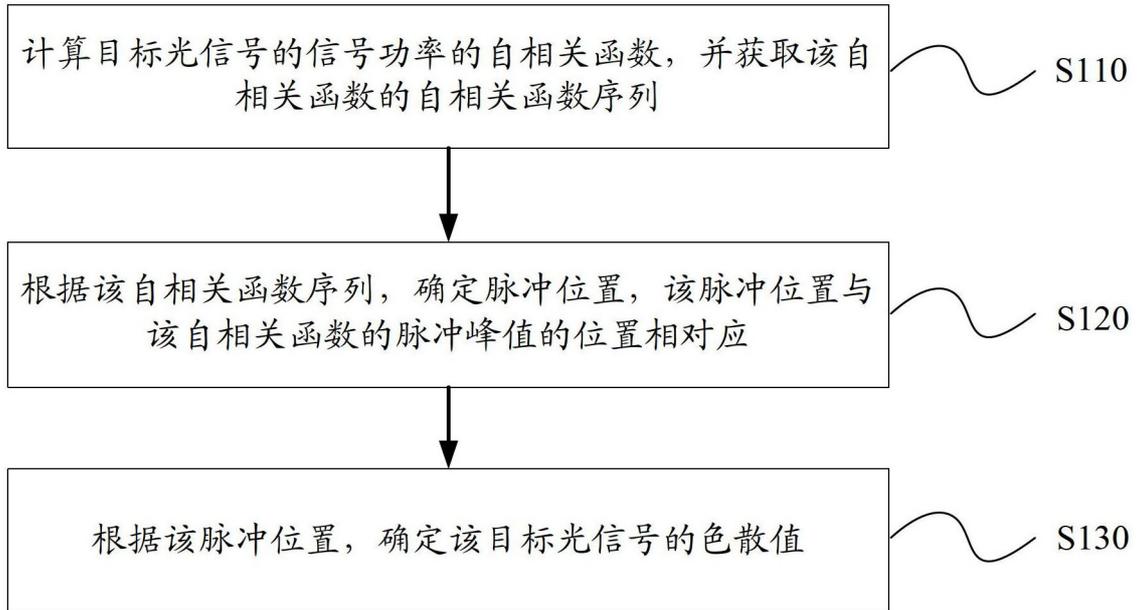


图 1

200

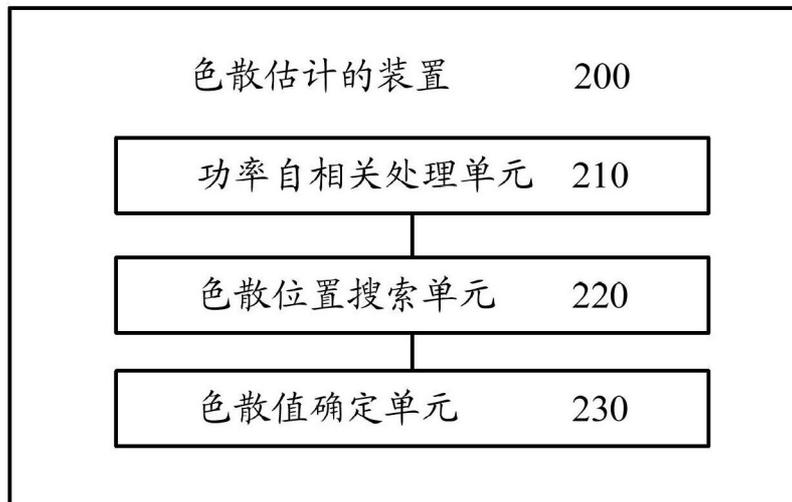


图 2

300

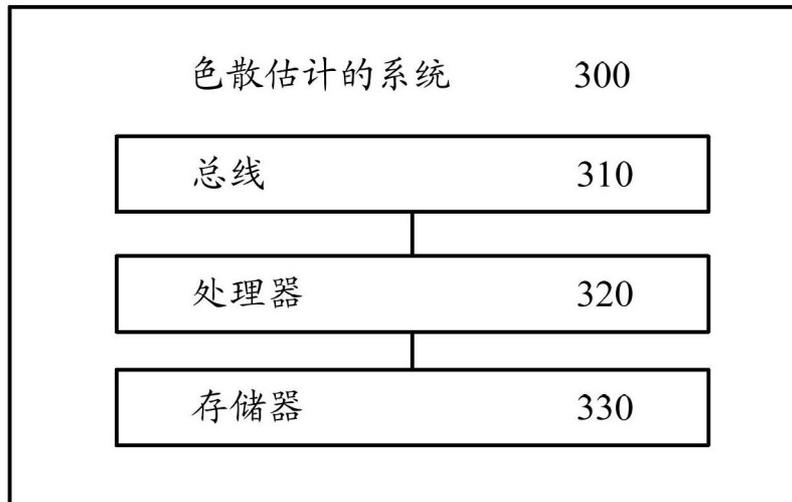


图 3