(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103620987 B
(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201280031892.0
(22)申请日 2012.06.20
(30)优先权数据
11305827.5 2011.06.29 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.12.27
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2012/061787 2012.06.20
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2013/000779 EN 2013.01.03
(73)专利权人 阿尔卡特朗讯
地址 法国巴黎
(72)发明人 F·瓦孔迪奥 O·博特兰-帕尔多
(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
代理人 王茂华 陈姗姗
(51)Int.Cl.
H04B 10/2513(2013.01)
H04B 10/61(2013.01)
(56)对比文件
US 2010329698 A1,2010.12.30,
CN 101931469 A,2010.12.29,
US 7606498 B1,2009.10.20,
CN 1394027 A,2003.01.29,
CN 1394005 A,2003.01.29,
审查员 龙祁峰

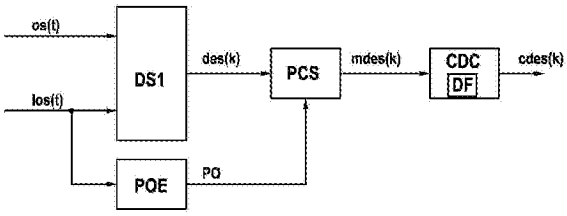
权利要求书1页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

对经相位调制的光信号进行解调的方法

(57)摘要

提供了一种对接收自光信道的、经相位调制的光信号进行解调的方法。使用本地光信号从经相位调制的光信号中推导出时间离散电信号，该本地光信号的频率基本上等于经相位调制的光信号的载波频率。通过从本地光信号推导出相位偏移以及利用此相位偏移修改推导出的时间离散电信号，对本地光信号和经相位调制的光信号之间的相位误差进行补偿。通过使用数字滤波器对经修改的时间离散电信号进行滤波，对光信道引起的色散进行补偿。



CN 103620987 B

1.一种对接收自光信道的、经相位调制的光信号(os(t))进行解调的方法,包括:

-使用本地光信号(los(t))从所述经相位调制的光信号(os(t))推导出时间离散电信号(des(k)),所述本地光信号的频率等于所述经相位调制的光信号(os(t))的载波频率,

-通过从所述本地光信号(los(t))推导出相位偏移(PO)以及利用所述相位偏移(PO)修改推导出的所述时间离散电信号(des(k)),对所述本地光信号(los(t))和所述经相位调制的光信号(os(t))之间的相位误差进行补偿,

-通过使用数字滤波器(DF)对经修改的所述时间离散电信号(mdes(k))进行滤波,对所述光信道引起的色散进行补偿。

2.如权利要求1的方法,其中推导所述相位偏移(PO)的步骤(POE)包括下述子步骤:

-使用光相位至振幅变换器件(OCD),根据所述本地光信号(los(t))生成光振幅信号(oas(t)),

-将所述光振幅信号(oas(t))变换为模拟电振幅信号(eas(t)),

-将所述模拟电振幅信号(eas(t))变换为时间离散电振幅信号(deas(k')),

-从所述时间离散电振幅信号(deas(k'))推导出所述相位偏移(PO)。

3.如权利要求2的方法,还包括:

-修改所述时间离散电振幅信号(deas(k'))的振幅。

4.如权利要求2的方法,其中所述光相位至振幅变换器件(OCD)在线性范围内操作。

5.如权利要求4的方法,其中推导所述时间离散电信号(des(k))的步骤(DS1)包括下述子步骤:

-使用所述本地光信号(los(t)),从所述经相位调制的光信号(os(t))推导出模拟电同相信号分量(eis(t))和模拟电正交信号分量(eqs(t)),

-通过对所述模拟电信号分量(eis(t),eqs(t))进行采样,生成相应的时间离散电信号分量(deis(k),deqs(k)),以及

-将所述时间离散电信号分量(deis(k),deqs(k))进行叠加。

6.如权利要求5的方法,其中从所述经相位调制的光信号(os(t))推导出所述模拟电信号分量(eis(t),eqs(t))的子步骤包括将所述本地光信号(los(t))和所述经相位调制的光信号(os(t))进行叠加。

7.如权利要求1-6中任一的方法,还包括

-使用第二数字滤波器来补偿剩余相位误差。

8.一种用于对接收自光信道的、经相位调制的光信号进行解调的器件,其中所述器件(OD,OD2)适用于:

-使用本地光信号(los(t))从所述经相位调制的光信号(os(t))中推导出时间离散电信号(des(k)),所述本地光信号的频率等于所述经相位调制的光信号(os(t))的载波频率,

-通过从所述本地光信号(los(t))推导出相位偏移(PO)以及利用所述相位偏移(PO)修改推导出的所述时间离散电信号(des(k)),对所述本地光信号(los(t))和所述经相位调制的光信号(os(t))之间的相位误差进行补偿,

-通过使用数字滤波器(DF)对经修改的所述时间离散电信号(mdes(k))进行滤波,对所述光信道引起的色散进行补偿。

对经相位调制的光信号进行解调的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用于对接收自光信道的、经相位调制的光信号进行解调的方法和器件。

背景技术

[0002] 在光数据传输中，数据值可以借助于经相位调制的光传输信号进行传输。该光传输信号通过基于所传输数据值并根据相应相移键控(PSK)调制方法的星座图、对光载波信号(其具有载频)的相位进行调制而生成。星座图的每个点代表待传输的数据值有限集合，其中该数据值集合称作数据符号。数据符号由星座图的对应星座点代表，其中星座点具有对应的符号相位值。取决于待传输的数据符号，推导出相应的星座点和符号相位值。对应于符号相位值的信号可以解释为同相信号分量和正交信号分量的叠加，其中

[0003] -两种信号分量具有相同的频率，

[0004] -同相信号分量具有等于0的相位，而正交信号分量具有与同相信号分量的相位的差为π/2的相位，以及

[0005] -两种信号分量的相应振幅确定对应的符号相位值。

[0006] 对光载波的相位进行调制，使得其对应于代表相应数据符号的推导出得符号相位值。生成的光信号继而在光信道上传输。

[0007] 在接收侧，使用相干接收机制从光信道接收传输的光信号，并对其进行解调，在相干接收中，所接收的光信号与具有载频和相位的本地光信号进行混合，理想情况下，该相位等于在发射侧使用的光载波信号的相位。本地光信号由接收侧存在的本地振荡器提供。光信号与本地光信号的混合在电域中产生同相信号分量和正交信号分量，其中这些信号分量可以叠加以在电域中形成接收的信号。

[0008] 利用硬判决检测机制，可以针对该星座图的点确定哪个符号相位值与由所接收电信号代表的相位值最类似。由此，可以从推导出的信号分量推导出所接收的数据。

[0009] 针对在较高数据速率上传输数据值，在PSK中使用的相位调制的原理可以进行扩展，不仅对光信号的相位进行调制，而且对光信号的振幅进行调制。这种组合的相位和信号调制也公知为正交振幅调制(QAM)。

发明内容

[0010] 目的在于改善光数据传输的已知方法。

[0011] 提供了一种对接收自光信道的、经相位调制的光信号进行解调的方法。该方法包括不同步骤。

[0012] 使用本地光信号从经相位调制的光信号推导出时间离散电信号，该本地光信号的频率基本上等于经相位调制的光信号的载波频率。

[0013] 通过从本地光信号推导出相位偏移以及利用此相位偏移修改推导出的时间离散电信号，对本地光信号和经相位调制的光信号之间的相位误差进行补偿。

[0014] 通过使用数字滤波器对经修改的时间离散电信号进行滤波，对光信道引起的色散进行补偿。

[0015] 为了理解所建议方法的优势，需要考虑下述方面。

[0016] 当在非理想光信道上传输光信号时，该光信号可能受到在光信道内出现的色散效应的干扰。色散对于所传输光信号的影响可以解释为在频域中利用复合传送函数对光信号进行滤波的影响。在光纤用于传输的情况下，如果该光纤的类型和长度已知，则可以估计此传送函数。由此，通过利用具有在频域中与所估计的传送函数相逆的传送函数的数字滤波器对推导出的电信号分量进行滤波，可以在接收侧处对光信道引起的色散进行补偿。

[0017] 当从经PSK调制的光信号推导电信号分量时，本地光信号的相位误差仍然存在于时间离散电信号中。如果此后，通过利用带有复合频率响应的数字滤波器对此时间离散电信号进行滤波，光信道的色散被补偿，则此滤波引起相位误差转化为振幅误差，振幅误差可以详细推导出。这种振幅误差难以在处理的后续阶段得到补偿。正常情况下，处理的其他步骤仅考虑补偿剩余相位误差。由此，剩余振幅误差可能影响稍后从电信号推导出的数据值。

[0018] 所建议的方法具有这样的优势，即，由本地光信号引起的并且存在于时间离散电信号内的相位误差在电信号由数字滤波器进行滤波之前得到补偿，该数字滤波器具有复合频率响应并且将相位误差转化为振幅误差。因而，由此滤波引起的电信号内的振幅误差的影响被减小。因此，可以更可靠地从电信号推导出数据值。

附图说明

[0019] 图1示出了用于补偿色散中相位误差的不同步骤。

[0020] 图2示出了从本地光信号推导相位偏移的不同步骤。

[0021] 图3具体示出了补偿相位误差的步骤。

[0022] 图4示出了修改时间离散电信号的振幅的步骤。

[0023] 图5a示出了从接收的光信号推导时间离散电信号的不同子步骤。

[0024] 图5b示出了叠加时间离散电信号分量的子步骤。

[0025] 图6示出了用于从经相位调制的光信号推导模拟电信号分量的混合单元。

[0026] 图7示出了用于对接收自光信道的、经相位调制的光信号进行解调的器件。

[0027] 图8示出了根据另一实施方式、对接收自光信道的、经相位调制的光信号进行解调的器件。

具体实施方式

[0028] 当使用光信号的相位调制传输数字数据时，光信号可能遭受由经由其传输光信号的光信道所引起的色散。这种色散可以在频域中描述为传送函数，该传送函数依赖于该信号的频率f，用作光信道的光纤的长度L和常量β，其中β可以由规范表单提供，如果光纤类型已知的话。由色散引起的、作为结果的传送函数H_{DISP}继而可以表达为：

[0029] $$H_{DISP} = e^{j\beta L f^2}$$。

[0030] 为了补偿色散的影响，所接收的光信号可以由数字滤波器在数字域中进行滤波，该数字滤波器的传送函数与色散引起的传送函数相逆。

[0031] 当从接收的光信号推导所接收的数据值时，相干接收方法是常规手段，在相干接

收中:光信号与本地光信号进行混合,本地光信号具有与光信号的载波频率基本上相同的频率。由此,获取基带光信号。

[0032] 针对这种相干接收方法,本地光信号需要具有与用于在发射侧生成光信号的光载波信号的相位相同的相位。在本地光信号与用于生成该光信号的光载波信号之间存在相位偏移的情况下,可以将此相位偏移视为在所推导出的光基带信号中存在的相位误差。在由补偿色散的数字滤波器对该光基带信号进行滤波的情况下,这种相位误差可能变换为振幅误差。经色散补偿的信号内剩余的振幅误差也存在不利影响,因为在信号处理的后面阶段,通常仅补偿剩余的相位误差,但不会补偿振幅误差。因此,一旦光基带信号内存在的本地光信号的相位误差变换为振幅误差,此振幅误差可能不能在后面的处理阶段中得到完全补偿。这导致在对所接收光信号进行解调时错误地推导出数据值。

[0033] 由色散的数字滤波器引起的相位误差转变为振幅误差的细节可以参见“Irshaad Fatadin和Seb J.Savory的‘Impact of phase to amplitude noise conversion in coherent optical systems with digital dispersion compensation’,Opt.Express18,16273-16278(2010)”。

[0034] 为了将本地光信号相位误差的不利影响最小化,提供了一种对经相位调制的光信号进行解调的方法,其中本地光信号的相位误差在使用数字滤波器补偿色散之前被补偿。

[0035] 图1示出了接收自光信道的光信号os(t)。此外,图1示出了本地光信号los(t),其具有与光信号os(t)的载波频率基本上相同的频率。

[0036] 本地光信号los(t)由未在图1中示出的本地振荡器提供。本地振荡器可以是接收设备的集成部分。

[0037] 在推导步骤DS1中,从接收的光信号os(t)推导带有时间离散索引k的时间离散电信号des(k)。为此,使用本地光信号los(t)。确定时间离散电信号des(k),使得其具有采样率f_{sa1}。

[0038] 在相位偏移估计步骤POE中,从本地光信号los(t)推导相位偏移PO。

[0039] 在相位补偿步骤PCS中,利用推导出的相位偏移PO来修改所推导出的时间离散电信号des(k)。这产生了经修改的时间离散电信号mdes(k)。

[0040] 在色散补偿CDC的步骤中,经修改的时间离散电信号mdes(k)利用数字滤波器DF进行滤波,这将产生经补偿的时间离散电信号cdes(k)。

[0041] 如前所述,图1所示的所建议方法的优势在于:在相位补偿步骤PCS中,将本地光信号los(t)的相位误差最小化,这降低了色散补偿CDC步骤将这种相位误差转换成在经补偿的电信号cdes(k)中存在的振幅误差的影响。

[0042] 基于经补偿的电信号cdes(k),通过在数字域中补偿剩余相位误差,可以推导出进一步的信号。图1中未示出补偿剩余相位误差的这种步骤。在补偿了剩余的相位误差后,可以将作为结果的信号用于根据在发射侧处使用的PSK或QAM调制机制来推导出数据值中的数据符号。

[0043] 图2示出了用于从本地光信号los(t)推导相位偏移PO的相位偏移估计步骤POE的不同子步骤。

[0044] 利用光相位至振幅变换器件OCD,本地光信号los(t)内存在的相位分量被变换为生成的光振幅信号oas(t)。

[0045] 可以用作光相位至振幅变换器件OCD的器件示例是延迟线干涉仪，迈克耳孙干涉仪或光学滤波器。优选地，光学滤波器具有诸如陷波滤波器的特征传送函数，其中本地振荡器信号los(t)的频率落入该滤波器的转变范围。

[0046] 通过向光电变换器件OECD(诸如，光电二极管)提供光振幅信号oas(t)，光振幅信号oas(t)被变换为模拟电振幅信号eas(t)。

[0047] 经由模数转换器ADC，电振幅信号eas(t)被变换为时间离散电振幅信号deas(k')，其带有时间离散索引k'。

[0048] 时间离散电振幅信号deas(k')由模数转换器ADC以采样率fsa2生成。根据时间离散信号deas(k')，在推导步骤POD中推导出相位偏移PO。

[0049] 提供时间离散信号deas(k')所使用的采样率fsa2不需要是与在电域中提供基带信号des(k)(如图1所示)所使用的采样频率f_{sa1}相同的采样频率。基于这样的事实，即本地光信号los(t)的相位分量以明显低于电基带信号des(k)(如图1所示)的信号频率的速率改变，采样率f_{sa2}可以选择成比采样速率f_{sa1}小。因此，如图2所示确定本地光信号los(t)的相位偏移PO带有明显优势，因为这时可以使用以降低的采样率$f_{sa2}<f_{sa1}$操作的模数转换器ADC，这使得可以较之于如图1所示用于生成时间离散基带信号des(k)的模数转换器ADC、将更便宜的模数转换器ADC用于此目的。

[0050] 图3详细示出了相位补偿PCS的步骤。所推导出的时间离散电基带信号des(k)利用数字滤波器DF1进行滤波，以获取经修改的电信号mdes(k)。提供给数字滤波器DF1的相位偏移PO已经在推导步骤POD(如图2所示)中推导出来，该项表示为$e^{jdeas(k)}$。

[0051] 为此，将时间离散电振幅信号deas(k')的采样率调整为时间离散电基带信号des(k)的采样率f_{sa1}。这由图3中的事实示出，即，电振幅信号deas(k)具有与电基带信号des(k)相同的时间离散索引k。

[0052] 电基带信号des(k)在数字滤波器DF1中乘以项$e^{-jdeas(k)}$，以补偿所确定的本地光信号的相位偏移。

[0053] 可以通过上采样来将电振幅信号eas(k')的采样率调整为电基带信号des(k)的采样率f_{sa1}。

[0054] 图4示出了振幅修改AM的附加步骤，其可以在模数转换ADC的步骤和相位偏移推导POD的步骤之间实施，这两个步骤已经在图2中示出了。所推导出的电振幅信号deas(k')可能遭受由图2所示光变换器件OCD的非线性行为所引起的非线性化，该OCD用于将本地光信号的光相位分量变换为光振幅信号。这种非线性化在振幅修改步骤AM中，通过根据补偿图2所示光相位至振幅变换器件OCD的非线性行为的预定义压缩扩展器函数、修改电振幅信号deas(k')的振幅而得到补偿。

[0055] 在图2的光变换器件OCD具有线性行为、但根据具有不等于1的斜率的线性函数进行动作的情况下，振幅修改AM的步骤可以简单地包括利用常数因子对电振幅信号deas(k')的缩放。

[0056] 图5a示出了用于推导时间离散电信号des(k)的步骤DS1的子步骤。在混合步骤MIX中，使用本地光信号los(t)，从经相位调制的光信号os(t)推导出模拟电同相信号分量eis(t)和模拟电正交信号分量eqs(t)。在下一步骤模数转换ADC内，模拟电信号分量eis(t)，IQS(t)被变换为生成的相应的时间离散电信号分量deis(k)，deqs(k)。

[0057] 在叠加SUS的进一步的步骤中，生成的时间离散电信号分量deis(k)，deqs(k)被叠加，以产生时间离散电信号des(k)。

[0058] 图5b详细示出了叠加SUS的步骤。时间离散电正交信号分量deqs(k)乘以因子j，并继而与时间离散电同相信号分量deis(k)相加。这产生了时间离散电信号des(k)。图6示出了混合单元MIXU，其可以用于执行之前在图5a中示出的混合MIX步骤。

[0059] 图6示出了具有电场ES(t)的所接收光信号os(t)，其可以由振幅$A_s(t)$、频率ω_s和相位φ_s描述为等式2。

[0060] 本地光信号los(t)具有电场EL(t)，其可以由振幅A_1、频率ω_1和相位φ_l描述为等式1。

[0061] 光信号os(t)被提供至线性偏振器LP。线性偏振器LP对光信号os(t)进行偏振，使得得到的光信号具有针对混合单元MIXU的两个偏振分束器PBS1，PBS2的主轴线旋转了45度角的电场。本地光信号los(t)被提供给线性偏振器LP，其将光信号和电场进行对齐，使得其与随后的四分之一波片QWP的快光轴对齐。

[0062] 四分之一波片QWP引起传入光信号的圆偏振，这相对于偏振分束器PBS1，PBS2的主轴线产生相应分量，这些分量被偏移了π/2的相位。离开四分之一波片QWP的、与偏振分束器PBS1，PBS2的通过轴对齐的光分量被移位π/2，而其他分量不会经历相位移位。

[0063] 来自线性偏振LP的经线性偏振的光信号os(t)由半反射镜HRM分发至偏振分束器PBS1，PBS2。此外，离开四分之一波片QWP的圆偏振光信号的两个信号分量也由此半反射镜HRM分发至偏振分束器PBS1，PBS2。

[0064] 到达偏振分束器PBS1的光信号被分光，使得位于与偏振分束器PBS1的通过轴线对齐的偏振平面内的光信号被传送至光电二极管PDA。在与偏振分束器PBS1的反射轴线对齐的偏振平面中进入偏振分束器PBS1的光信号被反射至光电二极管PDB。到达光电二极管PDA的光信号的电场可以描述为电场EA(t)。到达光电二极管PDB的光信号的电场可以描述为电场EB(t)。

[0065] 与对应于偏振分束器PBS2的通过轴线对应的偏振平面相对齐地进入偏振分束器PBS2的光信号被传递至光电二极管PDD上。在与偏振分束器PBS2的反射轴线对齐的偏振平面中进入偏振分束器PBS2的光信号被反射至光电二极管PDC。

[0066] 到达光电二极管PDC的光信号的电场可以视为电场EC(t)。到达光电二极管PDD的光信号的电场可以视为电场ED(t)。

[0067] 现在，可以在下文详细描述到达光电二极管PDA，PDB，PDC，PDD的电场。

[0068] 电场ES(t)不会经历偏振分束器PBS1已知的半反射镜HRM产生的任何相位移位。因此，电场ES(t)不会遭受相位移位。电场EO(t)遭受归因于半反射镜HRM的反射产生的相位移位π/2，以及由四分之一波片QWP引起的相位移位π/2。因此，电场EL(t)在到达光电二极管PDA之前会经历总计为π的相位偏移。因此，电场EA(t)可以描述为等式7。

[0069] 电场ES(t)在到达光电二极管PDB之前，会经历归因于偏振分束器PBS1内的反射引起的相位移位π/2。电场EO(t)在到达光电二极管PDB之前，将在半反射镜处经历第一相位移位π/2以及在偏振分束器PBS1内的反射期间经历第二相位移位π/2。因此，电场EB(t)可以写为等式8。

[0070] 电场ES(t)在到达光电二极管PDC之前，会经历归因于半反射镜HRM处的反射引起的相位移位π/2，以及在偏振分束器PBS2内的反射期间经历相位移位π/2。电场EL(t)在到达光电二极管PDC之前，会在反射期间、在偏振分束器PBS2内经历相位移位π/2。因此，电场EC(t)可以写为等式9。

[0071] 电场ES(t)在到达光电二极管PDD之前，会在半反射镜HRM处经历相位移位π/2。此外，电场EO(t)在到达光电二极管PDD之前，在四分之一波片QWP内经历相位移位π/2。因此，电场ED(t)可以写为等式10。

[0072] 光电二极管PDA、PDB、PDC、PDD在其输出处生成电信号，其对应于到达光电二极管PDA、PDB、PDC、PDD的电场的强度，因此，每个光电二极管PDA、PDB、PDC、PDD生成电信号$|E_A(t)|^2$,$|E_B(t)|^2$,$|E_C(t)|^2$,$|E_D(t)|^2$这些电信号等于到达光电二极管PDA、PDB、PDC、PDD的电信号的幅度的平方。

[0073] 从光电二极管PDC提供的电信号$|E_C(t)|^2$中减去光电二极管PDB提供的电信号$|E_B(t)|^2$这产生了信号Q(t)，其可以示出并描述为：

[0074] $$Q(t)=\left|E_C(t)\right|^2-\left|E_B(t)\right|^2=\frac{1}{2}A_S(t)\cdot A_L\cdot\sin(\varphi_1(t))$$。

[0075] 此外，从光电二极管PDD提供的电信号$|E_D(t)|^2$中减去光电二极管PDA提供的电信号$|E_A(t)|^2$，这会产生电信号I(t)，其可以推导为：

[0076] $$I(t)=\left|E_D(t)\right|^2-\left|E_A(t)\right|^2=\frac{1}{2}A_S(t)\cdot A_L\cdot\cos(\varphi_1(t))$$。

[0077] 在电信号I(t)，Q(t)中，相位$\varphi_1(t)$可以示为

[0078] $$\varphi_1(t)=(\omega_S-\omega_L)\cdot t+\varphi_S(t)-\varphi_L(t)$$。

[0079] 在本地光信号los(t)的频率ω_L基本上等于光信号os(t)的频率ω_S的情况下，信号I(t)、Q(t)的相位$\varphi_1(t)$被减小为光信号os(t)的相位$\varphi_S(t)$与本地光信号los(t)的相位$\varphi_L(t)$之间的差值，即

[0080] $$\varphi_1(t)\approx\varphi_S(t)-\varphi_L(t)$$。

[0081] 因此，信号I(t)可被视为通过将光信号os(t)与本地光信号los(t)混合得到的光基带信号的电同相信号分量I(t)=eis(t)。此外，出于以上解释的相同原因，信号Q(t)可被视作通过混合光信号os(t)与本地光信号los(t)得到的光基带信号的电正交信号分量Q(t)=eqs(t)。

[0082] 图7示出了用于对经相位调制的光信号OD进行解调的器件。光信号os(t)在光接口OIF处被接收。此光信号os(t)与本地光信号los(t)一起被提供至混合单元MIXU，如之前图6中描述的。本地光信号los(t)由本地振荡器提供，其可以是光器件OD的集成部分。

[0083] 混合单元MIXU生成电同相信号分量eis(t)和电正交信号分量eqs(t)。模数转换器ADC1将模拟电信号分量eis(t)，eqs(t)变换为相应的时间离散电信号分量deis(k)，deqs(k)。

[0084] 时间离散电信号分量deis(k),deqs(k)被提供至处理单元PU。该处理单元PU通过将正交信号分量deq(k)乘以因子j并将其与电同相信号分量deis(k)相加而将时间离散电信号分量deis(k),deqs(k)进行叠加。这产生了时间离散基带信号des(k)。

[0085] 本地光信号los(t)的一部分被提供至光变换器件OCD,其将本地光信号los(t)的光相位分量变换为光振幅信号oas(t)。光电变换器件将光振幅信号oas(t)变换为电振幅信号eas(t)。模数转换器ADC2将电振幅信号eas(t)转换为时间离散电振幅信号deas(k')。

[0086] 时间离散电振幅信号deas(k')被提供至处理单元PU,其确定本地光信号los(t)与用于生成光信号os(t)的载波信号之间的相位偏移,作为项$e^{jeas(k)}$。

[0087] 利用数字滤波器DF1,处理单元PU通过将电基带信号des(k)乘以项$e^{jdas(k)}$来补偿本地光信号los(t)的相位偏移。

[0088] 这产生了经修改的电信号mdes(k)。利用数字滤波器DF,处理单元PU补偿由光信道引起的色散。这产生了经补偿的电信号CDS(k)。

[0089] 图8示出了扩展的光器件OD2,其可以用在这样的情况中:光信号os(t)使用偏振分割复用的原理来在两个正交偏振平面内承载数字数据。

[0090] 所接收的光信号os(t)由偏振分束器PBS分为第一偏振光信号POS1(t)和第二偏振光信号POS2(t)。

[0091] 偏振光信号POS1(t)和POS2(t)的每一个由相应的混合单元MIXU1、MIXU2处理,以便使用本地光信号los(t)产生相应的电信号分量ESC1、ESC2。相应的电信号分量ESC1和ESC2继而由模数转换器ADC转换为相应的数字电信号分量DESC1,DESC2。以对应于之前针对图7描述的方式,从离散电信号分量DESC1、DESC2的每个集合中推导出相应的电基带信号des1(k)、des2(k)。每个电基带信号des1(k)和des2(k)由数字滤波器DF1进行滤波,以补偿本地光信号los(t)的相位误差,如之前针对图7详细描述的。

[0092] 因此,从每个电基带信号des1(k)、des2(k)获取相应的经修改的电信号mdes1(k)、mdes2(k)。这些经修改的信号继而由数字滤波器DF进行滤波,用于补偿由光信道引起的色散。这产生了相应的经补偿的电信号cdes1(k),cdes2(k)。在偏振分割复用POLDEM的步骤内,这些信号继而可以经历由诸如恒模算法之类的算法进行的均衡。这种均衡可以通过对信号cdes1(k)、cdes2(k)进行滤波的四个有限脉冲响应滤波器来执行,可以根据在发射侧使用的PSK或QAM星座图来从信号cdes1(k)、cdes2(k)推导出相应的数据流。有限脉冲响应滤波器的滤波系数可以使用恒模算法来确定,该算法在"Digital Coherent Optical Receivers:Algorithms and Subsystems,Seb J.Savory,IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS,VOL.16,NO.5,SEPTEMBER/OCTOBER20102"中进行了描述。

[0093] 器件OD和/或OD2进一步适用于执行针对图1-图8描述的一个或多个方法的其他步骤。对于计算步骤,器件OD和/或OD2可以依赖于信号处理单元PU和/或图7和图8中未明确示出的其他单元。

[0094] 描述和附图仅示出了本发明的原理。由此,可以理解,本领域技术人员应该能够设计出各种布置,尽管这些布置未在此处明确描述或示出,但是这些布置体现本发明的原理并且包括在本发明的精神和范围内。此外,此处描述的所有示例在原理上可以显式扩展为仅用于教导目的,以辅助读者理解本发明的原理和本发明人所贡献的概念以促进现有技

术，并且这些示例可以在不限制于这种明确记载的示例和条件的情况下进行解释。而且，此处记载本发明原理、方面和实施方式的所有陈述以及本发明的特定示例意在包括本发明的等同物。

[0095] 图7和图8中示出的各种元素的功能，包括标记为“器件”、“单元”或“处理单元”的任何功能块可以通过使用专用硬件和能够与适当软件结合地执行软件的硬件来提供。在由处理器提供时，这些功能可以由单个专用处理器、单个共享处理器或多个个体处理器(其中的某些可以是共享的)来提供。而且，术语“处理单元”、“器件”或“单元”的明确使用不应当理解为仅涉及能够执行软件的硬件，并且可以隐式地包括但不限于数字信号处理器(DSP)硬件、网络处理器、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)、用于存储软件的只读存储器(ROM)、随机访问存储器(RAM)和非易失性存储器。也可以包括其他硬件，传统的和/或定制的均可。本领域技术人员应当理解，此处的任何框图代表体现本发明原理的示意性电路的原理性视图。

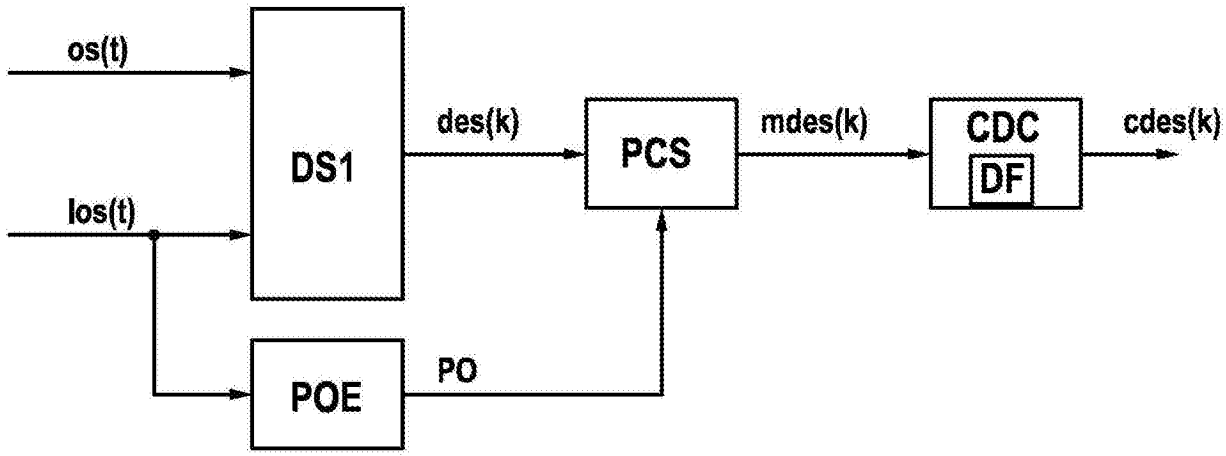

os(t)
los(t)
DS1
des(k)
PCS
mdes(k)
CDC
DF
cdes(k)
POE
PO

图1

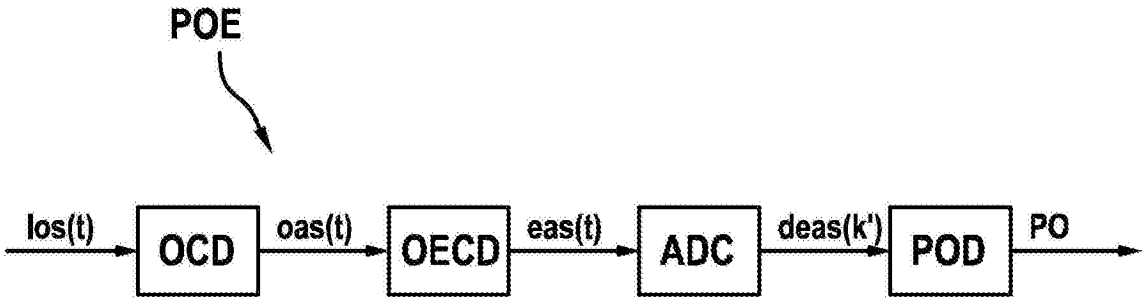

POE
los(t)
OCD
oas(t)
OECD
eas(t)
ADC
deas(k')
POD
PO

图2

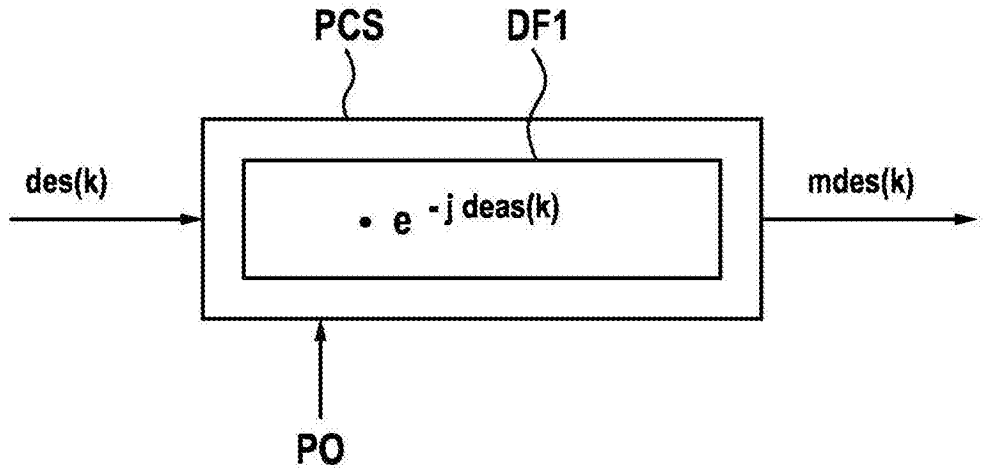

PCS
DF1
des(k)
• e - j deas(k)
mdes(k)
PO

图3


ADC
deas(k')
AM
POD

图4

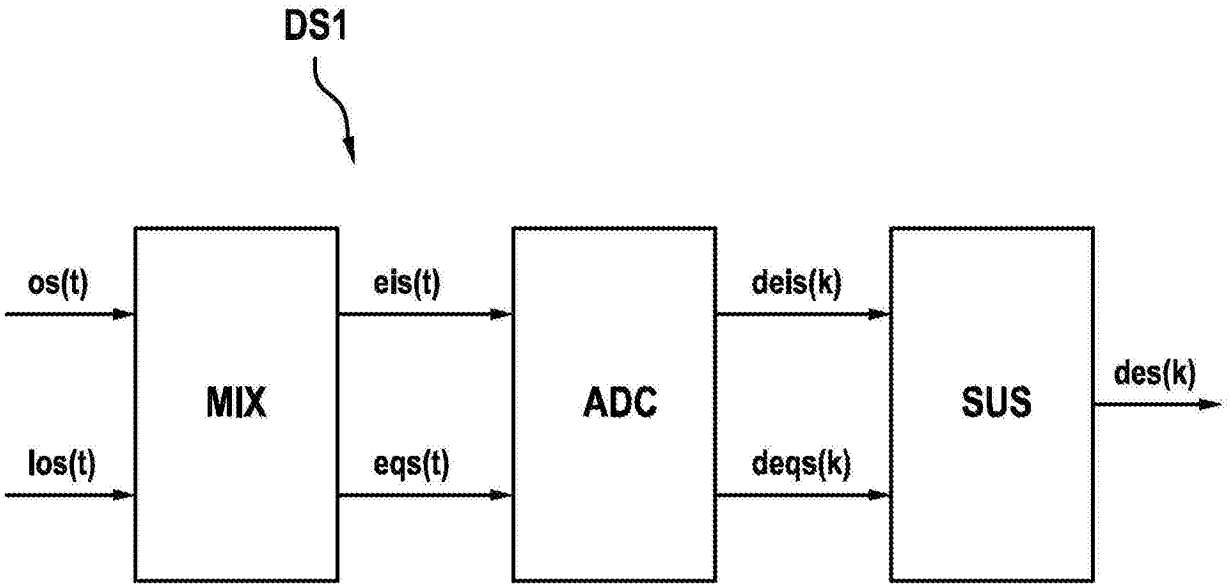

DS1
os(t)
los(t)
MIX
eis(t)
eqs(t)
ADC
deis(k)
deqs(k)
SUS
des(k)

图5a

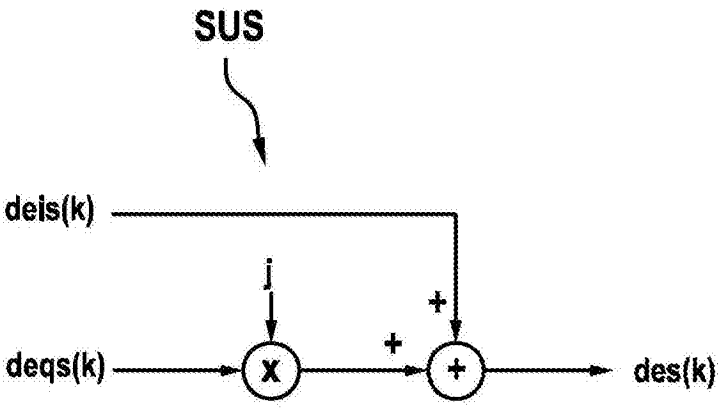

SUS
deis(k)
j
deqs(k)
X
+
+
+
des(k)

图5b

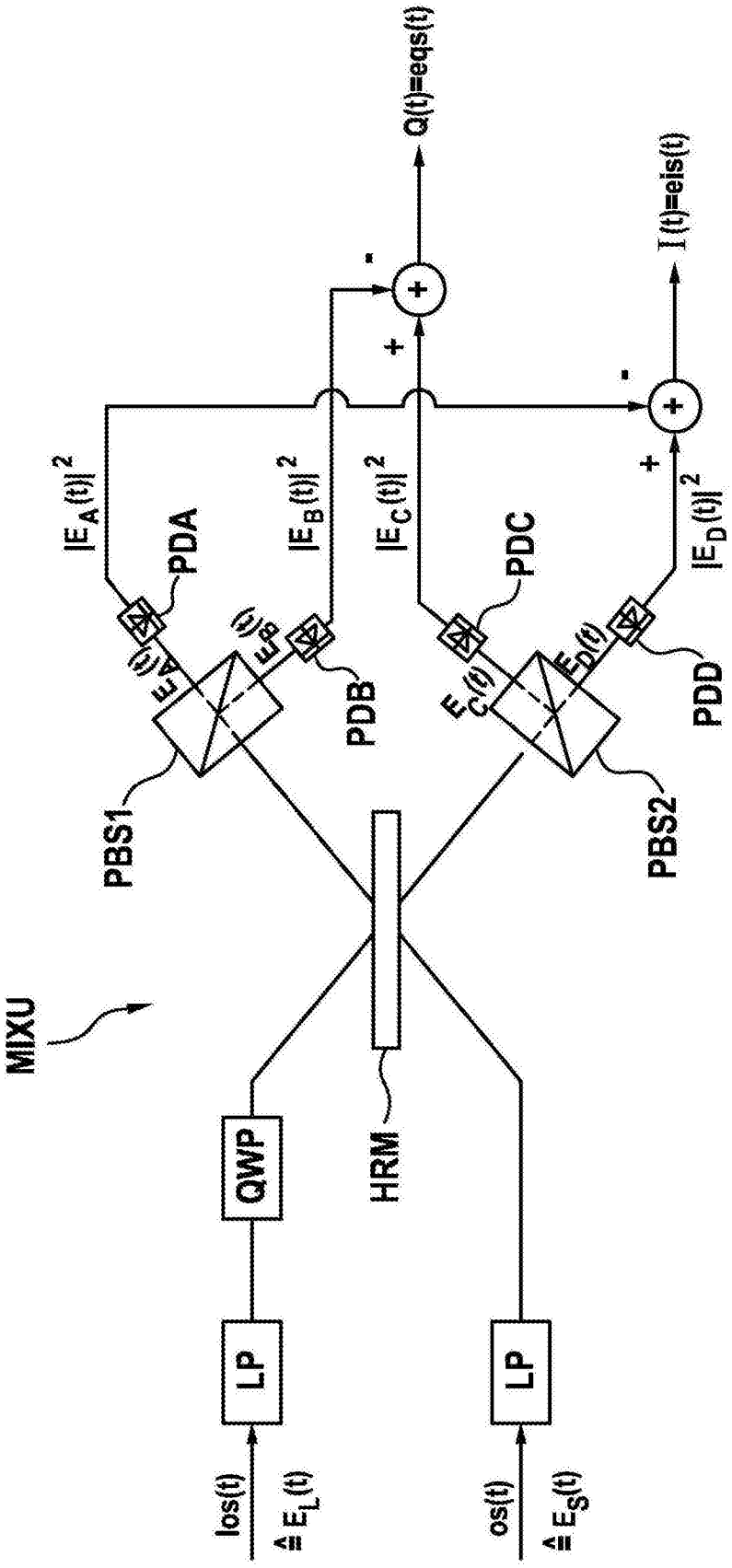

Q(t)=eqs(t)
I(t)=eis(t)
$|E_A(t)|^2$
$|E_B(t)|^2$
$|E_C(t)|^2$
$|E_D(t)|^2$
PDA
PDB
PDC
PDD
PBS1
PBS2
MIXU
HRM
QWP
LP
LP
los(t)
$\triangleq E_L(t)$
os(t)
$\triangleq E_S(t)$

图6

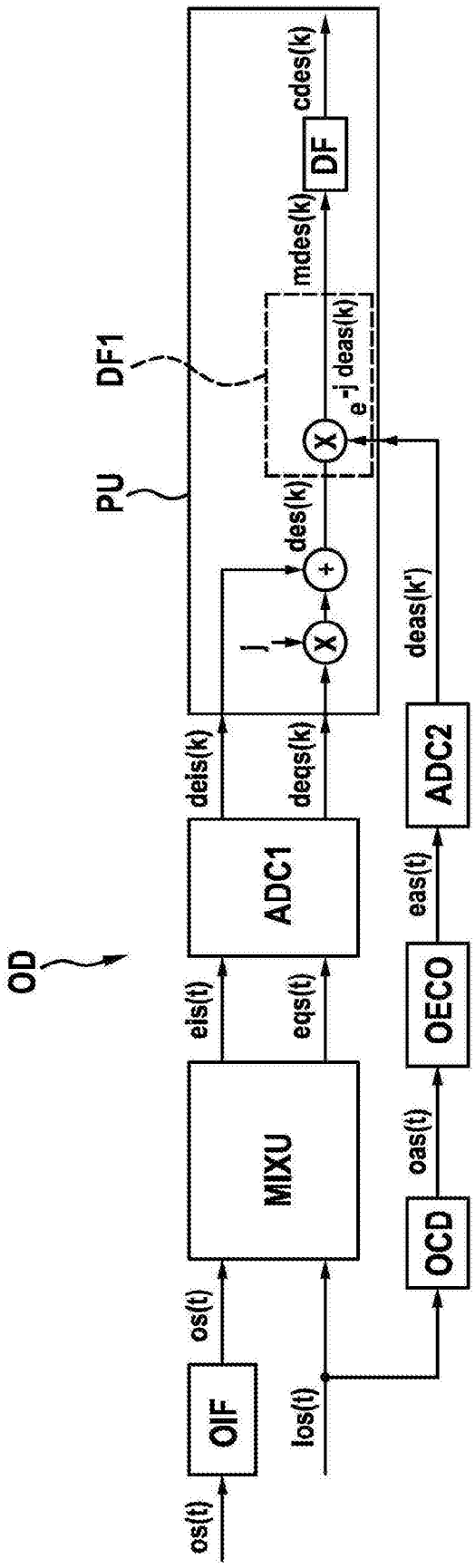

os(t)
OIF
os(t)
los(t)
MIXU
eis(t)
eqs(t)
ADC1
deis(k)
deqs(k)
OD
PU
DF1
j
X
+
des(k)
X
e-j deas(k)
mdes(k)
DF
cdes(k)
deas(k')
ADC2
eas(t)
OECO
oas(t)
OCD

图7

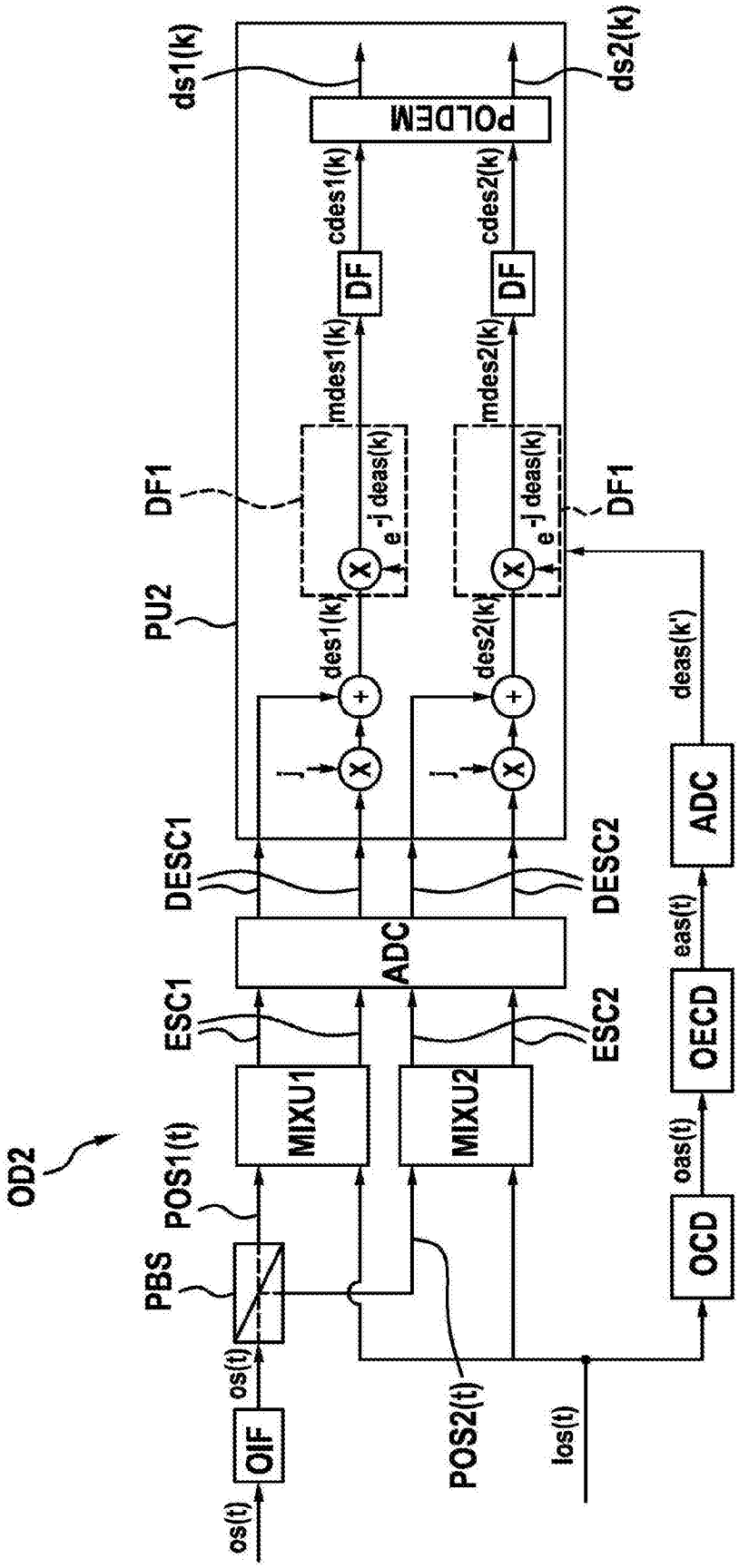

OD2
os(t)
OIF
os(t)
PBS
POS1(t)
MIXU1
MIXU2
POS2(t)
los(t)
ESC1
ESC2
ADC
DESC1
DESC2
PU2
DF1
DF1
des1(k)
des2(k)
mdes1(k)
mdes2(k)
cdes1(k)
cdes2(k)
DF
DF
POLDEM
ds1(k)
ds2(k)
deas(k')
ADC
eas(t)
OECD
oas(t)
OCD

图8