



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110487389 B

(45) 授权公告日 2022.01.14

(21) 申请号 201910826355.9

CN 106767961 A, 2017.05.31

(22) 申请日 2019.09.03

CN 109444895 A, 2019.03.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105466548 A, 2016.04.06

申请公布号 CN 110487389 A

CN 110132397 A, 2019.08.16

(43) 申请公布日 2019.11.22

CN 105389917 A, 2016.03.09

(73) 专利权人 南京大学

CN 103926588 A, 2014.07.16

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路
22号

CN 102879081 A, 2013.01.16

CN 107907151 A, 2018.04.13

WO 2013066654 A1, 2013.05.10

(72) 发明人 张益昕 董嘉赟 张旭苹 周桐
王顺 陈可楠 张弛 王峰

董嘉赟. Φ -OTDR中相干衰落抑制方法研究.
《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技
辑》.2019, (第7期), 第11-17、19-22、29-35页.

(74) 专利代理机构 北京睿智保诚专利代理事务
所(普通合伙) 11732

曹露. Φ -OTDR系统的多尺度信号处理技术.
《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技
辑》.2019, (第7期), 第6-8、15-19、21-28、41-45
页. (续)

代理人 周新楣

审查员 伊慧贞

(51) Int. Cl.

G01H 9/00 (2006.01)

G01D 5/353 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109084905 A, 2018.12.25

权利要求书1页 说明书4页 附图4页

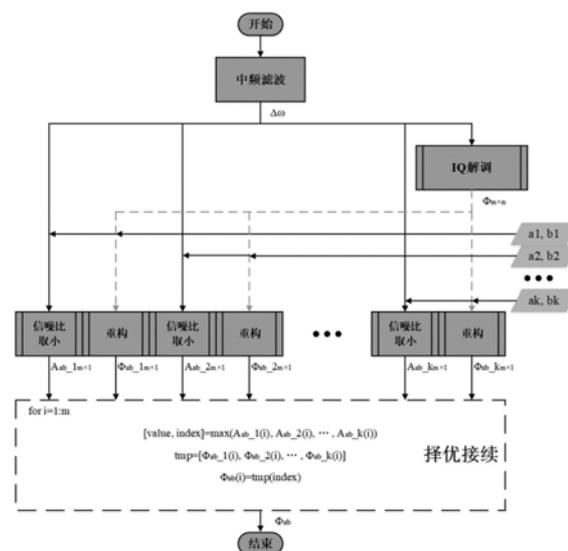
(54) 发明名称

一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方
法

了误报率。

(57) 摘要

本发明公开了一种基于最优位置跟踪的相
干衰落抑制方法,步骤如下:S1:对探测脉冲光产
生的背向瑞利散射光与参考光混合相干后输出
的拍频信号进行中频滤波,并提取出中频分量;
S2:对中频分量进行IQ解调,获取中频分量的相
位;S3:选取振动作用区域前后处于稳定状态的k
组参考区域,并将中频分量的相位在每组参考区
域的两个参考位置处进行重构;S4:计算中频分
量在每组参考区域的两个参考位置中的信噪比,
并选出最小信噪比;S5:在任意时刻内都选出最
大信噪比,并将最大信噪比对应的重构信号作为
最终的重构信号。本发明在仅使用普通单模传感
光纤且不改变传统 Φ -OTDR系统结构的前提下,
实现了外界振动信号的高保真重构,并显著降低



CN 110487389 B

[接上页]

(56) 对比文件

周俊等. 基于多频率综合鉴别_OTDR系统中干涉衰落假信号的相位解调技术.《中国激光》.2013,第40卷(第9期),第1-6页.

Shan Yuanyuan et al..Performance

Optimization for Phase-Sensitive OTDR Sensing System Based on Multi-Spatial Resolution Analysis.《SENSORS》.2019,第19卷(第1期),第1-10页.

1. 一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方法,其特征在于,所述相干衰落抑制方法具体包括如下步骤:

S1:对探测脉冲光产生的背向瑞利散射光与参考光混合相干后输出的拍频信号进行中频滤波,并从所述拍频信号中提取出中频分量;

S2:对所述中频分量进行IQ解调,获取所述中频分量的相位;

S3:从光纤中选取振动作用区域前后处于稳定状态的k组参考区域 $[a_i, b_i]$, $i=1, 2, \dots, k$,其中: a_i 和 b_i 为参考区域内两个不同的参考位置, i 为参考区域所在的组号;

同时将所述中频分量的相位在每组参考区域的两个参考位置处进行重构,得到每组参考区域的重构信号;

S4:计算所述中频分量在每组参考区域的两个参考位置中的信噪比,并从两个信噪比中,选出所述参考区域内对应的最小信噪比;

S5:根据信噪比和重构信号之间的关系,在任意时刻内都从选出的最小信噪比中选出最大信噪比,并将所述最大信噪比对应的重构信号作为最终的重构信号;

在步骤S4中,所述中频分量在每组参考区域的两个参考位置中的信噪比,具体为:

以所述参考区域中的参考位置为中心,空间分辨率的中频分量为长度,对所述空间分辨率的中频分量进行傅里叶变换,再计算所述傅里叶变换后的中频频段功率与其他频段总功率之间的比值。

2. 根据权利要求1所述的一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方法,其特征在于,在所述k组参考区域 $[a_i, b_i]$ 中,两个相邻参考区域中的参考位置 a_i 之间的距离、两个相邻参考区域中的参考位置 b_i 之间的距离均不小于空间分辨率的 $1/4$ 。

一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光纤传感技术领域,尤其涉及一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方法。

背景技术

[0002] 相位敏感光时域反射计(Φ -OTDR)具有分布式传感、响应速度快和灵敏度高等特点,在结构健康监测、周界入侵监测以及地震监测等领域显示出巨大的应用潜力。 Φ -OTDR通常选取振动作用区域前后处于稳定状态的两段光纤作为参考区域,通过提取这两个参考区域背向瑞利散射光(RBS)相位差随时间的变化来实现对外界振动的定量测量。由于 Φ -OTDR使用的窄线宽光源相干长度极长,探测脉冲光产生的RBS在脉冲内部发生干涉,导致接收端接收到的RBS强度呈现出随机起伏,这种现象称为相干衰落。相干衰落会引起光纤某些区域RBS强度趋近于零,在这些区域相位解调结果很容易出现信噪比的急剧恶化。即使选取的参考区域在一开始RBS强度较高,随着时间的推移,该区域RBS强度依然可能因光源频漂而趋近于零,从而造成重构的外界振动信号存在失真,导致频繁的误报警,这给 Φ -OTDR在工程中的应用带来极大不便。

[0003] 为了抑制相干衰落的影响,周俊等人在发表于《中国激光》期刊的《基于多频率综合鉴别 ϕ -OTDR系统中干涉衰落假信号的相位解调技术》中提出同时对三个不同频率的拍频信号进行相位解调,然后以幅度大小作为判断相位解调正确与否的依据,从而鉴别出由于相干衰落导致的误报警。庞拂飞等人在发表于IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS期刊的《AFading-Discrimination Method for Distributed Vibration Sensor Using Coherent Detection of ϕ -OTDR》中指出,不同于相干衰落仅影响相位报警点处的相位,外界振动还会影响相位报警点之后的相位,利用相位报警点前后两点的相位差即可排除由相干衰落引起的相位报警点,提高 Φ -OTDR定位的准确性。上述方法能够剔除误报警,但并未从根本上提高重构信号的保真度。马苏德等人在发表于JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY期刊的《A Continuous Fading Effect Suppression Method for Φ -OTDR Systems Using Optimum-Tracking over Multiple Probe Frequencies》中提出以幅度大小作为判断依据,任意时刻总是选取最为准确的中频分量的重构信号进行接续,实现外界振动信号的高保真重构。周桐等人在专利《一种相位敏感型光时域反射系统中降低探测死区概率的信号处理方法》中提出以幅度大小作为判断依据,任意时刻总是选取最为准确的参考区域的重构信号进行接续,实现外界振动信号的高保真重构。上述方法以幅度大小作为判断依据是基于各个中频分量以及各组参考区域的噪声强度相同这一前提,在一定程度上是不可靠的。

发明内容

[0004] 发明目的:针对在仅使用普通单模传感光纤且不改变传统 Φ -OTDR系统结构的前提下,虽能实现外界振动信号的高保真重构,但是误报率高的问题,本发明提出一种基于最

优位置跟踪的相干衰落抑制方法。

[0005] 技术方案:为实现本发明的目的,本发明所采用的技术方案是:

[0006] 一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方法,所述相干衰落抑制方法具体包括如下步骤:

[0007] S1:对探测脉冲光产生的背向瑞利散射光与参考光混合相干后输出的拍频信号进行中频滤波,并从所述拍频信号中提取出中频分量;

[0008] S2:对所述中频分量进行IQ解调,获取所述中频分量的相位;

[0009] S3:从光纤中选取振动作用区域前后处于稳定状态的k组参考区域 $[a_i, b_i]$ $i=1, 2, \dots, k$,其中: a_i 和 b_i 为参考区域内两个不同的参考位置, i 为参考区域所在的组号;

[0010] 同时将所述中频分量的相位在每组参考区域的两个参考位置处进行重构,得到每组参考区域的重构信号;

[0011] S4:计算所述中频分量在每组参考区域的两个参考位置中的信噪比,并从所述两个信噪比中,选出所述参考区域内对应的最小信噪比;

[0012] S5:根据信噪比和重构信号之间的关系,在任意时刻内都从所述选出的最小信噪比中选出最大信噪比,并将所述最大信噪比对应的重构信号作为最终的重构信号。

[0013] 进一步地讲,在所述k组参考区域 $[a_i, b_i]$ 中,两个相邻参考区域中的参考位置 a_i 之间的距离、两个相邻参考区域中的参考位置 b_i 之间的距离均不小于空间分辨率的1/4。

[0014] 进一步地讲,在所述步骤S4中,所述中频分量在每组参考区域的两个参考位置中的信噪比,具体为:

[0015] 以所述参考区域中的参考位置为中心,所述空间分辨率的中频分量为长度,对所述空间分辨率的中频分量进行傅里叶变换,再计算所述傅里叶变换后的中频频段功率与其他频段总功率之间的比值。

[0016] 有益效果:与现有技术相比,本发明的技术方案具有以下有益技术效果:

[0017] 本发明的相干衰落抑制方法在对振动作用区域前后处于稳定状态的多组参考区域进行相位重构后,以各组参考区域的中频分量信噪比作为判断依据,任意时刻总是选择最为准确的重构信号进行接续,从而在仅使用普通单模传感光纤且不改变传统 Φ -OTDR系统结构的前提下,实现了外界振动信号的高保真重构,并显著降低了误报率。

附图说明

[0018] 图1是本发明的相干衰落抑制方法的流程示意图;

[0019] 图2是本发明的各组参考区域的重构信号;

[0020] 图3是本发明的各组参考区域的重构信号准确性判断依据图;

[0021] 图4是本发明的最优位置跟踪后的重构信号图;

[0022] 图5是传统方法和本发明的鉴相结果对比图;

[0023] 图6是传统方法和本发明的鉴相结果误报率对比图。

具体实施方式

[0024] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,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。其中,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。因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。

[0025] 实施例1

[0026] 参考图1,本实施例提供了一种基于最优位置跟踪的相干衰落抑制方法,具体包括如下步骤:

[0027] 步骤S1:探测脉冲光产生的背向瑞利散射光和参考光混合相干后将输出拍频信号,该输出的拍频信号需要进行中频滤波,并从中提取出中频分量。在本实施例中,拍频信号的频率选择为150MHz,具体地讲,以150MHz为通带中心,对拍频信号进行中频滤波,从中将中频分量 $\Delta\omega$ 提取出来。

[0028] 步骤S2:对步骤S1中提取出的中频分量 $\Delta\omega$ 进行IQ解调,获得得到该中频分量 $\Delta\omega$ 的相位 Φ 。该相位 Φ 是由时间行和距离列组成的矩阵所构成,其中时间行中的每一行均表示在固定时间内相位随距离的分布,距离列中的每一列均表示在固定位置处相位随时间的变化。

[0029] 步骤S3:根据光纤中的振动作用区域,从振动作用区域前后选出k组处于稳定状态的参考区域 $[a_i, b_i]$ $i=1, 2, \dots, k$,其中: a_i 和 b_i 为参考区域内两个不同的参考位置, i 为参考区域所在的组号。

[0030] 在选取k组参考区域 $[a_i, b_i]$ 的过程中,需要注意如下选取规则:

[0031] 两个相邻参考区域中的参考位置 a_i 之间的距离、两个相邻参考区域中的参考位置 b_i 之间的距离均不小于空间分辨率的1/4。其中空间分辨率为光纤中探测脉冲光宽度的一半。

[0032] 在本实施例中,光纤中的振动作用区域为460m~490m,从中选取三组参考位置,分别为:(435m, 505m)、(440m, 510m)和(445m, 515m)。

[0033] 参考图2,同时将步骤S2获取得到的中频分量 $\Delta\omega$ 的相位 Φ 在三组参考区域的两个参考位置处均进行重构,得到每组参考区域的重构信号 Φ_{ab_i} 。在理想情况下,重构信号 Φ_{ab_i} 均与外界振动信号保持一致,即25Hz正弦激励保持一致。

[0034] 在本实施例中,获取每组参考区域的重构信号 Φ_{ab_i} ,具体为:将两个参考位置处的相位相减得到相位差,再对不同时刻的相位差进行相位解缠绕。

[0035] 步骤S4:计算中频分量在每组参考区域的两个参考位置中的信噪比,具体为:

[0036] 以参考区域中的参考位置为中心,空间分辨率的中频分量为长度,对空间分辨率的中频分量进行傅里叶变换,再计算傅里叶变换后的中频频段功率和其他频段总功率之间的比值。

[0037] 在获取了每组参考区域的两个参考位置中的信噪比后,将两个信噪比进行比较,从中选出每组参考区域对应的最小信噪比 A_{ab_i} 。

[0038] 步骤S5:根据信噪比和重构信号之间的关系,即参考图3,从中可以发现信噪比 A_{ab_i} 越大,重构信号 Φ_{ab_i} 越准确。

[0039] 根据步骤S4中获取得到的三个最小信噪比 A_{ab_i} 的大小,对步骤S3.3中得到的重构信号 Φ_{ab_i} 进行选取。即在任意时刻内都从选出的最小信噪比 A_{ab_i} 中选出最大信噪比,并将最大信噪比对应的重构信号 Φ_{ab_i} 作为最终的重构信号 Φ_{ab} 。参考图4,可以发现:最终的重构信号 Φ_{ab} 相比于重构信号 Φ_{ab_i} 具有更高的保真度。

[0040] 参考图5和图6,可以发现本相干衰落抑制方法相较于传统方法,实现了外界振动信号的高保真重构,并显著降低了误报率。

[0041] 以上示意性的对本发明及其实施方式进行了描述,该描述没有限制性,附图所示的也只是本发明的实施方式之一,实际的结构和方法并不局限于此。所以,如果本领域的普通技术人员受其启示,在不脱离本发明创造宗旨的情况下,不经创造性的设计出与该技术方案相似的结构方式及实施例,均属于本发明的保护范围。

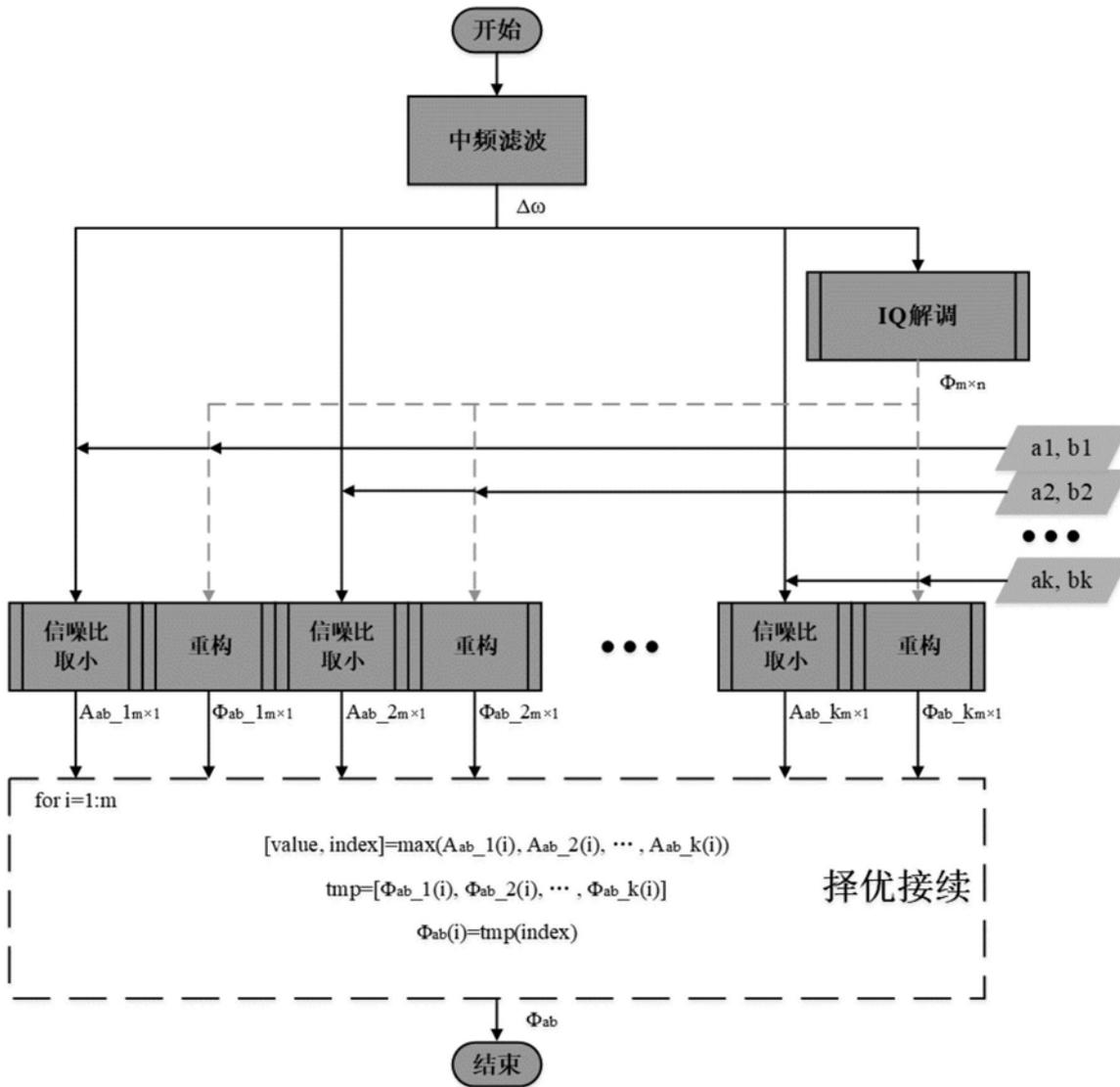


图1

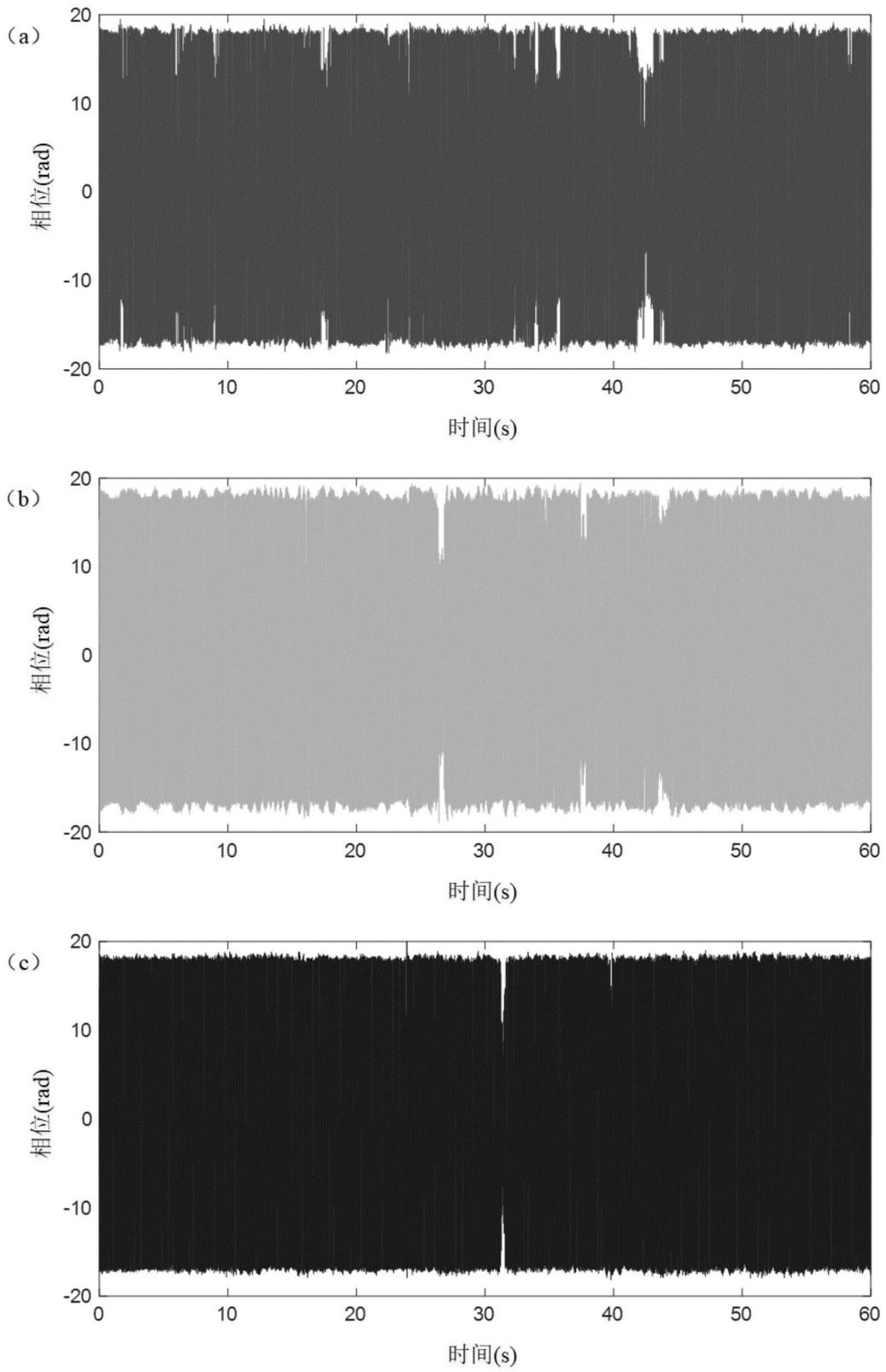


图2

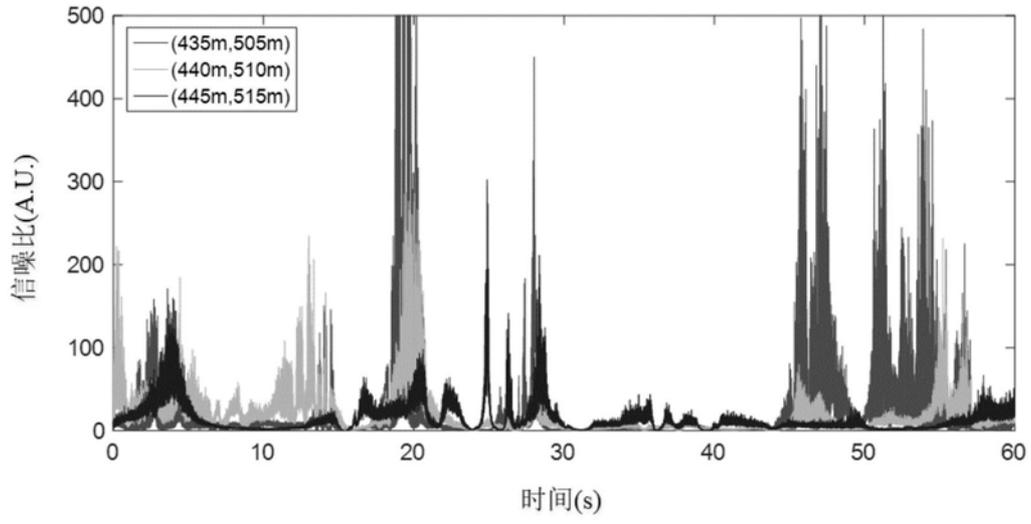


图3

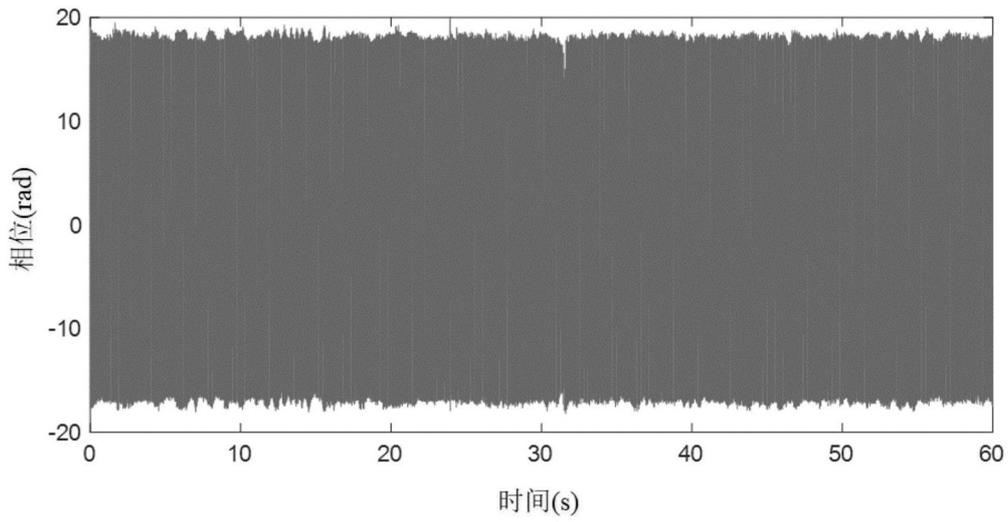


图4

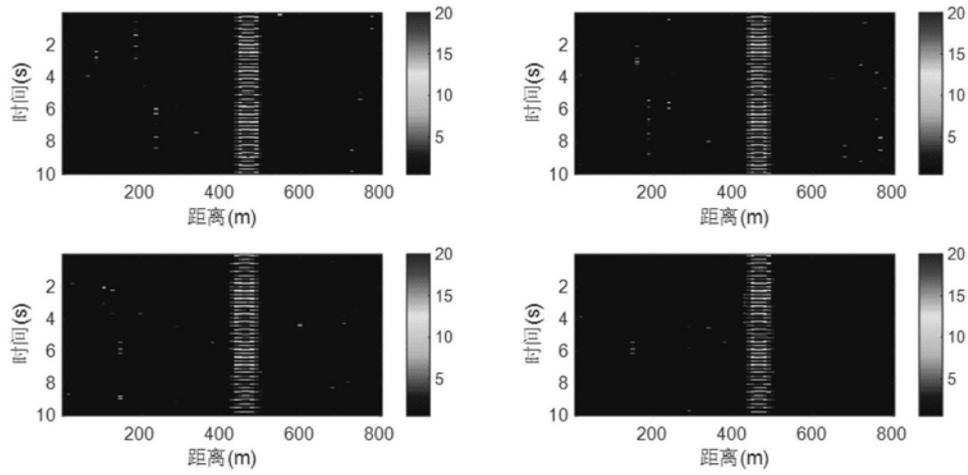


图5

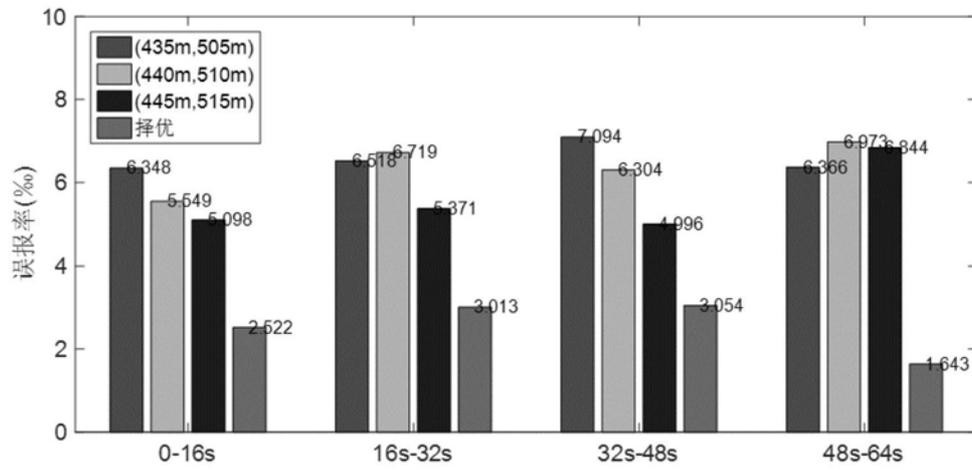


图6