

The Application of EMD Denoise in Design of Sampled Grating Comb Filter *

ZHU Dandan^{1,2*}, WANG Peng^{1,2}

(1. College of Electronic Engineering of YanShan university, Qinhuangdao Hebei 066004, China;

2. Key Laboratory of Measurement Technology and Instrumentation of Hebei Province, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066004, China)

Abstract: By changing the parameters of sampled fiber grating and simulating its reflective spectrum. Four optical comb filters based on sampled grating were designed. In order to optimization the function of sampled grating comb filter, a filtering analysis and denoising method by using EMD was proposed. This method divide intrinsic mode function obtained by EMD into two mode. One of the mode was that signal components mode play dominant role, the other mode was that (noise component mode plays dominant role. The mode of noise component play dominant role was removed. It can denoise reflective spectrum through restructuring signal. In this paper, reflective spectrum including noise was denoised as an example. The smooth reflective spectrum can be got after denoising.

Key words: optical communication; comb filter; EMD; sampled grating; reflective spectrum

EEACC:4150 doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2012.03.019

EMD 消噪在取样光栅滤波器设计中的应用 *

朱丹丹^{1,2*}, 王 鹏^{1,2}

(1. 燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 河北省测试计量技术及仪器重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 通过改变取样光栅的各参数来仿真其反射谱, 调试出四种基于取样光纤光栅的光学梳状滤波器。为了优化取样光栅梳状滤波器功能, 提出了利用经验模态分解对信号进行滤波分析和降噪处理的方法。该方法是将经验模态分解得到的固有模态函数, 分为信号分量起主导作用模态与噪音分量起主导作用模态, 去除噪音分量起主导作用模态, 并利用反映信号主要结构的模态对信号进行重构实现去噪。文中最后以一种含噪声的反射谱为例, 进行降噪后得到平滑的反射谱。

关键词: 光纤通信; 梳状滤波器; 经验模态分解; 取样光栅; 反射谱

中图分类号: TN29

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2012)03-0374-04

光学梳状滤波器是指具有相同间隔多个性能相同的透射光谱或反射光谱的滤波器^[1-2]。由于它特殊的光谱特性, 其在光电子以及光纤通信领域有着许多重要的用途^[3]。通过分析取样光栅的光谱性质, 深入了解光学梳状滤波器的特性, 制造出性能优异的梳状滤波器。取样光栅梳状滤波器, 可将其应用于密集型波分复用系统(DWDM), 随着 DWDM 的巨大市场, 取样光栅梳状滤波器必将得到迅速发展, 在光纤通信领域有广泛的应用前景^[4-5]。EMD (Empirical mode decomposition) 方法是依据数据的本身的信息进行的分解, 得到的 IMF (intrinsic mode function) 通常是个数有限的, 而且表现了数据内含有的真实物理信息, 它比 Fourier 级数方法有更多优

势, 与小波分析方法有类似的功能, 已广泛使用于信号处理领域^[6-7]。

1 取样光栅梳状滤波器设计

对于非均匀型光纤光栅, 可由传输矩阵法来解决, 所谓传输矩阵法就是将整段非均匀光栅分割成多段均匀光栅, 再将其每段分割的均匀光栅之传输矩阵相乘, 就会形成整体光栅的架构。均匀型的光纤光栅其传导方程以矩阵的形式(1)^[8-9]来表示

$$\begin{bmatrix} R_L \\ T_L \end{bmatrix} = F_k \begin{bmatrix} R_0 \\ T_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

L 为轴向光栅长度, 光纤轴向为 z , 利用边界条件求出当 $z=0$ 之反射与透射能量 (R_0, T_0), 以及 $z=L$ 时

项目来源: 河北省科技支撑计划项目(10213580); 国家自然科学基金项目(61107039, 61172044); 河北省测试计量技术及仪器重点实验室开放课题

收稿日期: 2011-09-28 修改日期: 2011-11-11

的反射与穿透能量($R_T L_T$),从而解出传输矩阵 F_k

$$F_k = \begin{bmatrix} \cos(\gamma L) - i \frac{\hat{\sigma}}{\gamma} \sinh(\gamma L) & -i \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma L) \\ i \frac{\kappa}{\gamma} \sinh(\gamma L) & \cos(\gamma L) + i \frac{\hat{\sigma}}{\gamma} \sinh(\gamma L) \end{bmatrix} \quad (2)$$

取样光纤光栅有光栅区的传输矩阵可由式(2)表示,无光栅区则可用移相位型矩阵 G_k 来表示:

$$G_k = \begin{bmatrix} \exp(-i\phi_k/2) & 0 \\ 0 & \exp(i\phi_k/2) \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 $\frac{\phi_k}{2} = \frac{2\pi n_{\text{eff}}}{\lambda} d_2$, ϕ_k 是无光栅区之相位变化。结合上面两式,又因为每段光栅区长度均相等,且无光栅区长度也相等,取样光纤光栅可简化为

$$\begin{bmatrix} R_L \\ T_L \end{bmatrix} = F_n \cdot (G_k \cdot F_k)^{n-1} \begin{bmatrix} R_0 \\ T_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

取样光纤布拉格光栅结构分布图如图1所示。取样光栅的周期为 p ,曝光区长度(折射率经过调制的区间长度)为 a ,取样光栅总长度为 $L^{[10]}$ 。基于传输矩阵法选择取样光栅的各参量可以设计出满足需要的梳状滤波器,经过调试我们可以得到4种梳状滤波器,如图2所示,图中4种滤波器的折射率调制量变化 $\delta n_{\text{eff}} = 0.001$ 。从图2中的反射谱中我们可以看到4种滤波器的反射峰均匀,反射峰间隔(对应光波分复用器的波道间隔)稳定,反射率高且接近为1。可应用于波分复用/解复用器以及光分插复用器中^[11]。

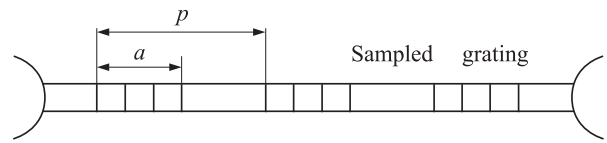


图1 取样光栅结构示意图

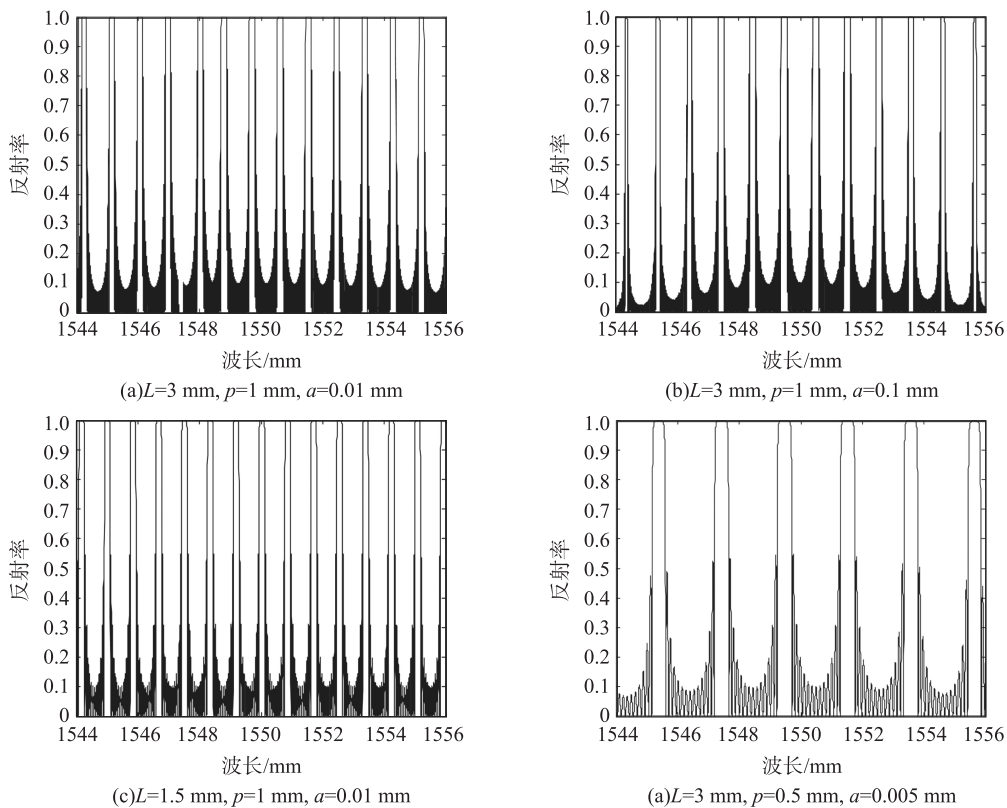


图2 取样光栅梳状滤波器

2 EMD 方法在梳状滤波器设计中的应用

在梳状滤波器实际设计中,反射谱信号往往包含大量的噪声干扰,影响梳状滤波器的应用。因此,对梳状滤波器进行消噪处理是至关重要的。EMD方法分解过程是:先将原始数据分解成第一个IMF和随时变化的均值之和,然后,将均值考虑为新的数

据,将其分解为第二个IMF和新的均值。持续这种分解过程直到获得最后一个IMF,最后一个IMF的均值是一个常数,为保证均值的确定的准确性,需要多次叠代,直至给定的判据。^[12]EMD去噪滤波是从高频至低频逐步筛选出噪声,最低频的IMF分量一般为原始信号的趋势或均值,对于本系统噪声为高频信号,且有效信号IMF分量与噪声的IMF分量不会出现结频率交叉的情况,这样直接将高频信号去

除,剩下的低频信号叠加就得到有效信号,这就是本文 EMD 滤波的基本原理。

对梳状滤波器反射谱进行 EMD 消噪的模拟仿真,取 $L=1\text{ cm}$, $n_{\text{eff}}=1.46$, $\delta n_{\text{eff}}=0.001$, 取样周期 p 为 0.2 mm , 取样长度 a 为 0.01 mm 。对于本系统主要针对高频噪声信号的消除,所以模拟加入高频随机噪声,得到的取样光栅反射谱和时延谱如图 3 所示,可以看出,反射谱信号和时延谱信号包含大量噪声。

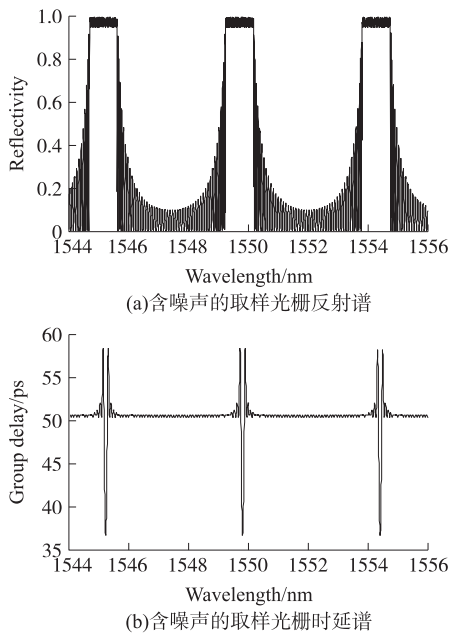


图 3 含噪声的取样光栅反射谱与时延谱

EMD 方法基于一个基本的假设:①任何复杂的信号都可以分解为一系列 IMF;②每个 IMF 的过零点和极值点的数目相同;③由极大值和极小值组成的上下包络线是关于时间轴对称的。EMD 分解任意信号 $x(t)$ 基本过程:找出 $x(t)$ 的局部最大值和局部最小值,用三次样条对局部极大值和局部最小值分别进行插值,拟合上、下包络线,设其平均值为 m_1 , 求出 $x(t)-m_1=h_1$, 理想状态下 h_1 即为第一个 IMF 分量;若 h_1 不满足 IMF 的条件,则重复进行筛选,记其平均值为 m_{11} , 求出 $h_{11}=h_1-m_{11}$, 重复判断 h_{11} 是否满足条件,如不满足则重复进行筛选 k 次,得到 $h_{1(k-1)}-m_{1k}=h_{1k}$, 直到 h_{1k} 满足条件,此时 $c_1=h_{1k}$ 为第一个 IMF 分量。从 $x(t)$ 信号中分离出 c_1 , 记 $r_1=x(t)-c_1$ 为原始信号,按照上面步骤求出 c_2 。如此循环 n 次,顺序得到 $x(t)$ 的各个 IMF 分量。这样

$$\begin{cases} r_1 - c_2 = r_2 \\ \vdots \\ r_{n-1} - c_n = r_n \end{cases} \quad (5)$$

当 r_n 成为一个单调函数不能再从中提取分量

时,循环结束。

对于原始信号进行 EMD 分解得到各个 IMF,对取样光栅反射谱进行 EMD 消噪。直接将高频 IMF 分量滤除,将低频 IMF 分量和残余函数相加即得到有效信号。实际有效信号为:

$$x'(t) = \sum_{i=k}^n c_i + r_n \quad (6)$$

其中, r_n 称为残余函数,代表信号的平均趋势

对取样光栅反射谱信号进行 EMD 分解如图 4 所示,得到 12 个 IMF 分量(imf1 ~ imf12) 和一个残余函数 res。从分解图看出,1 ~ 3 层为高频信号即为噪声信号,分离出含有噪声的 IMF 信号,此时的剩余信号分量即为实际有效信号,即将 imf4 ~ res 组合得到实际有效信号。

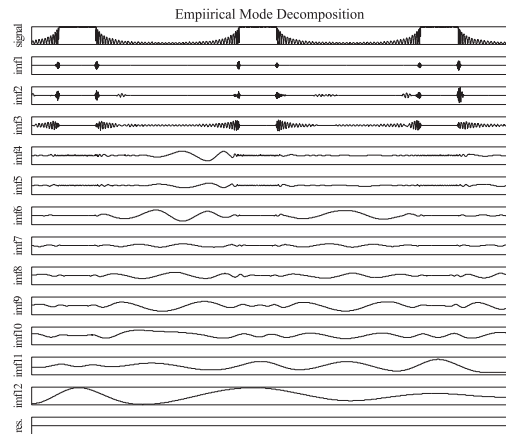


图 4 EMD 分解结果

重构后取样光栅反射谱信号如图 5(a) 所示,显然经过 EMD 消噪后,梳状滤波器反射谱平滑。采用同样方法得到重构后的时延谱信号如图 5(b) 所示。

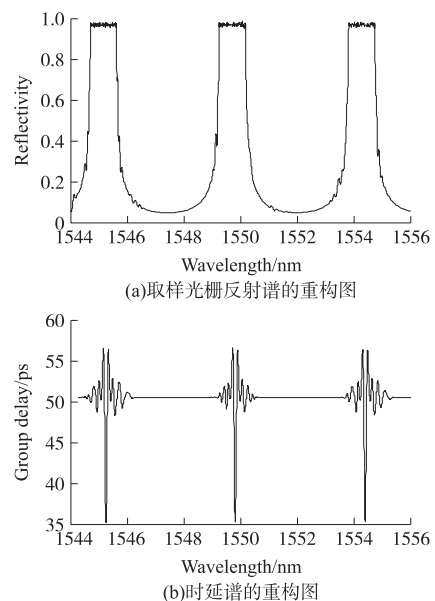


图 5 取样光栅反射谱和时延谱的重构图

3 结论

通过改变取样光栅的取样周期、占空比、和取样光栅长度等参数,就可以改变取样光栅的光谱特性,设计梳状滤波器。梳状滤波器可用作密集型波分复用系统中多波长输出激光器的反馈谐振腔,上/下载复用器(ADM),光放大器中抑制噪声。本文对矩形取样光纤光栅进行优化设计,选择适当的参数,设计梳状滤波器,利用EMD(经验模态分解)方法对取样光栅反射谱和时延谱进行降噪处理,得到比较平滑的反射谱,能够精确判断取样光栅峰值点。该方法对光纤光栅梳状滤波器的设计、研究具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 涂兴华,刘逢清,徐宁.非连续线性啁啾取样布拉格光栅多信道光纤滤波器的设计[J].光学精密工程,2010,18(9):1965-1970.
- [2] 刘卓琳,张伟刚,姜萌,等.光纤滤波器的原理、结构设计及其进展[J].中国激光,2009,36(3):540-546.



朱丹丹(1978-),女,满族,辽宁葫芦岛人,讲师,博士,主要从事光电检测,光纤及光学传感器的研究,zhudandan1896@126.com;

- [3] 朱洪亮,许晓冬,王桓,等.取样光栅分布反馈激光器阵列器件研究[J].光电子·激光,2010,21(9):1280-1282.
- [4] Isa Navruz, Fatma Guler N. Optimization of Reflection Spectra for Phase-Only Sampled Fiber Bragg Gratings[J]. Optics Communications, 2007, 271(12):297-302.
- [5] 朱英勋,王荣,蒲涛.具有多个波长通道的光纤光栅相位编/解码器[J].中国激光,2007,34(11):1522-1526.
- [6] 孟宗,无戴桂平,刘彬.于EMD时频分析方法的性能研究[J].传感技术学报,2006,19(4):1029-1032.
- [7] 钱莉,徐国平,陈文元,等.基于混合EMD方法的加速度计信号处理[J].2010,23(11):1605-1609.
- [8] 王燕,叶志清.取样光纤布拉格光栅的特性分析[J].江西师范大学学报,2002,26(2):174-177.
- [9] Ibsen M, Hubner J. 30 dB Sampled Gratings in Germanosilicate Planar Waveguides[J]. Electron. Lett., 1996, 32(24):2233-2235.
- [10] 瞿荣辉,丁浩,赵浩,等.取样光纤布拉格光栅[J].光学学报,1999,19(2):226-229.
- [11] 游澜,余重秀,陈思勤.取样光纤光栅及其应用研究[J].中央民族大学学报,2004,13(4):322-326.
- [12] 付瑶,王红军,吴国新.EMD信号处理方法在LabVIEW和MATLAB中的实现[J].北京机械工业学院学报,2008,23(2):23-26.



王鹏(1988-),男,汉族,河北沧州人,硕士研究生,主要从事光纤光栅的研究。