

文章编号:1004-4213(2010)04-0714-5

扩频原理在聚合物光纤性能测量中的应用*

张宝荣^a, 郑德忠^b, 于荣金^a

(1 燕山大学 a. 信息科学与工程学院; b. 电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:提出了一种将扩频通信原理用于聚合物光纤性能测量的新方法,使用伪随机序列对注入测量系统的光信号进行调制,实现输入光信号的扩展频带,输出光信号经光电转换后,用伪随机序列对信号进行解扩处理,根据扩频原理,解扩后的信号的信噪比会有较大提高.对测量系统的性能进行了仿真分析并与实验结果进行了比较,结果表明该方法可以精确地测量信噪比低于-20 dB 的有用信号波形.

关键词:扩频通信;伪随机序列;微弱光信号;信噪比

中图分类号: TN247

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103904.0714

0 引言

聚合物光纤是由高分子材料制成的,具有质地柔软、纤芯直径大、容易连接与耦合和成本低等优点,在短距离数据传输、局域网通信和光纤传感领域有着广泛的应用^[1-2].聚合物光纤的损耗是很大的,在可见光范围损耗系数通常在 150 dB/km 以上,因此在聚合物光纤的性能测量中,经常需要测量微弱的光信号,它们都被淹没在干扰和噪音中.为了检测微弱的光信号,常用的方法有三种:1)光斩波后使用锁相放大器;2)对于周期脉冲信号使用取样积分器;3)单光子计数器.对于聚合物光纤性能测量只有锁相放大器是可以用的,但也只能测量正弦信号的幅度,而信号波形的变化对于聚合物光纤一些性能的测试是必须的.

扩频通信在通信领域已经广泛应用,其特点是通过扩展信号的频带实现传输信噪比很低的信号,扩频通信具有极强的抗干扰和噪音的能力^[3],这正是微弱信号测量所需要的.因此,为了测量输入信号的特定波形,根据扩频通信的原理,本文提出了一种聚合物光纤性能测量的新方法,用伪随机序列调制注入测量系统的光信号,测量后的输出光信号经过光电转换后再做解扩处理,处理后信号的信噪比将有很大提高,减小了测量的误差,提高了测量精度.

1 基于扩频原理的光纤性能测量方法

扩频通信原理源于香农的通信理论^[4],其中著

名的香农公式为

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

式中 C 是通信信道的通信容量; B 是信号的带宽 S/N 是信号的信噪比.可见在信道通信容量一定时,加大信号的带宽就可以传输信噪比较低的信号.实际的扩频通信系统有很多种,最基本的是直接扩频通信系统,用宽带的伪随机序列对窄带的信号进行调制,以达到扩展频带的作用.调制后的信号在信道中传输,各种干扰和噪音都会混入,接收端收到包含干扰和噪音的信号后,首先实现同步,然后,信号与发送端所用的伪随机序列相乘,进行解扩,解扩后的信号用窄带滤波器滤波,恢复发送端的原始信号.

根据扩频通信原理,设计了如下的光纤性能测量系统,原理框图见图 1.将用信号调制后的光信号 $s(t)$ 再用伪随机序列 $c(t)$ 进行扩频调制,实际应用时也可以反过来进行,即先进行伪随机序列扩频调制,然后再用光斩波器进行调制,得到扩频的光信号 $s(t)c(t)$.这个光信号注入到测量系统中,测量系统可以是聚合物光纤也可以是其他光学系统,并没有更多的条件限制,只要系统可以近似为线性系统,带宽足够宽即可.

测量系统输出的光信号通过光电转换和放大后,得到信号 $z(t) = x(t) + n(t)$,其中 $n(t)$ 代表在测量系统过程中附加的噪音和干扰信号,而

$$x(t) = \int_0^{\infty} g(\tau) s(t-\tau) c(t-\tau) d\tau$$

式中 $g(\tau)$ 是测量系统的单位脉冲响应,其中包括光电转换和信号放大.为了使用伪随机序列进行解扩处理, $x(t)$ 与 $c(t)$ 必须同步,因此可以对 $x(t)$ 与 $c(t)$ 进行相关运算,用互相关函数峰值来确定 $x(t)$ 和 $c(t)$

* 国家自然科学基金 (60577009) 资助

† Tel: 0335-8057078

Email: xuanyizi@ysu.edu.cn

收稿日期: 2009-07-18

修回日期: 2009-10-20

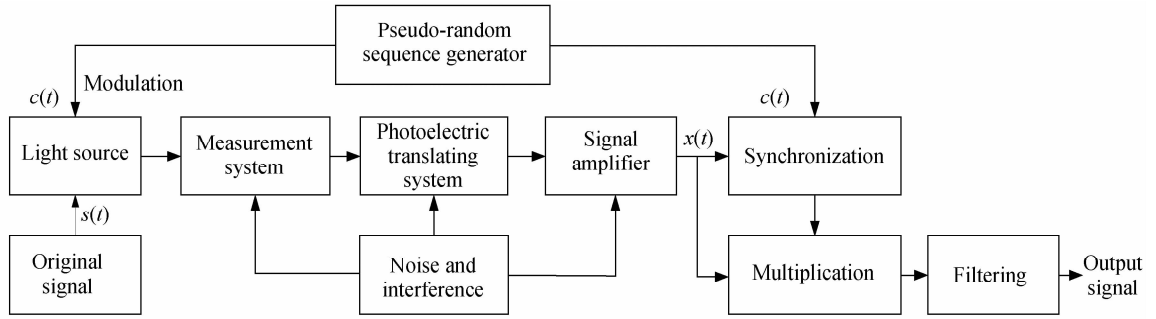


图1 测量原理

Fig.1 Schematic diagram of the principle of spreading spectrum measurement

同步,同步的 $x(t)$ 与 $c(t)$ 相乘后,用窄带滤波器滤波即可得到信号 $y(t)$,为系统单位脉冲响应与原始信号的卷积.

为了说明测量原理,将时域信号转换到频域,表1是信号及其频谱,以及它们在测量过程中的变化.

$$y(t) = \int_0^{\infty} g(\tau) s(t-\tau) d\tau$$

表1 信号及其频谱

Table 1 Signals and their spectra

Signals processing	Time domain	Frequency domain
Original signal	$s(t)$	$F_s(\omega)$
Pseudo-random sequence	$c(t)$	$F_c(\omega)$
Unit impulse response	$g(t)$	$G(\omega)$
Interference signal	$b(t)$	$F_b(\omega)$
Noise	$n(t)$	$F_n(\omega)$
Narrow-band filter	-	$F_f(\omega)$
Spread spectrum	$s(t) c(t)$	$F_s(\omega) * F_c(\omega)$
After measurement system	$\int_0^{\infty} g(\tau) s(t-\tau) c(t-\tau) d\tau + b(t) + n(t)$	$G(\omega) (F_s(\omega) * F_c(\omega)) + F_b(\omega) + F_n(\omega)$
After despreading	$x(t) c(t)$	$F_y(\omega) = F_c(\omega) * [G(\omega) \cdot F_s(\omega) * F_c(\omega) + F_b(\omega) + F_n(\omega)]$
After narrow-band filter	$y(t) = \int_0^{\infty} g(\tau) s(t-\tau) d\tau$	$F_y(\omega) F_f(\omega) \approx G(\omega) F_s(\omega)$

* 表示卷积

由于聚合物光纤的带宽都比较宽,如果系统带宽较窄,小于扩频序列的带宽,则扩展频谱的方法不适用了.因此在扩频序列的频宽范围内,系统的频率响应 $G(\omega) \approx k$ 为常数,解扩后信号频谱为

$$F_y(\omega) \approx F_c(\omega) * (k(F_s(\omega) * F_c(\omega)) + F_c(\omega) * (F_b(\omega) + F_n(\omega))) = k(F_c(\omega) * F_c(\omega)) * F_s(\omega) + F_c(\omega) * (F_b(\omega) + F_n(\omega)) \quad (2)$$

由于伪随机信号的自相关函数近似单位脉冲函数,即

$$F_c(\omega) * F_c(\omega) = \delta(\omega)$$

因此,

$$F_y(\omega) = kF_s(\omega) + F_c(\omega) * F_b(\omega) + F_c(\omega) * F_n(\omega) \quad (3)$$

通过窄带滤波器滤波后,

$$y(t) = ks(t) + \bar{b}(t) + \bar{n}(t) \quad (4)$$

式中 k 是系统增益, $\bar{b}(t)$ 、 $\bar{n}(t)$ 分别是剩余的干扰和噪声.

设窄带低通滤波器带宽为 B_f ,由原始信号的频

宽决定.而伪随机序列信号带宽为 B_c ,且 $B_c \gg B_f$.每秒钟伪随机序列的数目为 N_c ,一般取 $N_c > B_f$.对于处于信号 $F_s(\omega)$ 频带内的干扰,由于卷积 $F_c(\omega) * F_b(\omega)$ 的作用,可将干扰信号的频谱转移到以 mN_c (m 为整数)为中心频率的附近,可以用带宽 B_f 低通滤波器消除;而在 mN_c 频率附近,频率满足的干扰频谱将转移到 $|f - mN_c| < B_f$ 的频带内,因此在解扩前对信号用中心频率 mN_c 、带宽 B_f 的带通滤波器滤波,就可以消除这些频率的干扰信号.由于噪音的频带很宽,白噪音的功率谱密度是常数,解扩对于噪音而言,不影响其频谱,因此滤波后噪音功率大约降低至原来的 B_f/B_c [5].

根据分析,应用扩频原理的测量系统有很强的抑制各种频率干扰的能力,其中包括与原始信号同频带的干扰.同时也能够降低噪音.

2 仿真

为了进一步说明本文中的测量原理并验证理论

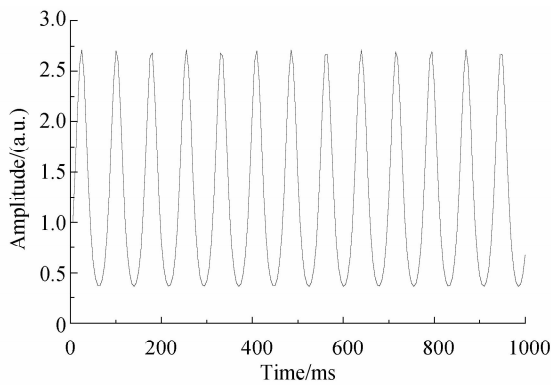
分析结果,作了一些仿真实验.表2为仿真实验所用参量的说明.图2中干扰信号和噪音的幅度都取得较大,如果原始信号没有扩频处理,直接进入测量系统,则输出信号会淹没在干扰和噪音中,无法进行测量.图3中解扩后干扰信号的频谱已经移出原始信

号的频谱范围,使用窄带滤波器即可消除干扰的影响.由此可见此方法可以消除各种干扰信号.特别是信号频带内的强干扰信号的影响.对于噪音,由于扩频后信号频带很宽 $B_c \gg B_f$,窄带滤波后信噪比大约提高了 B_c/B_f 倍.图3(c)是滤波后的信号,与原

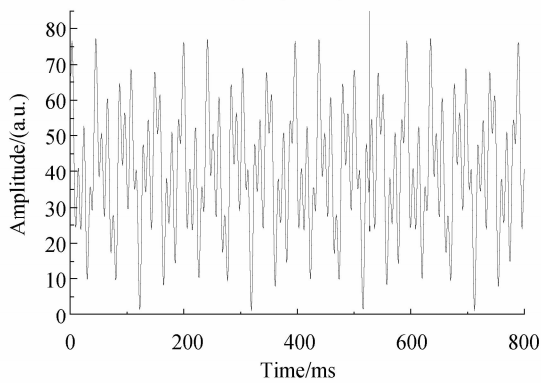
表2 仿真实验中所用参量

Table 2 Parameters used in the simulative experiment

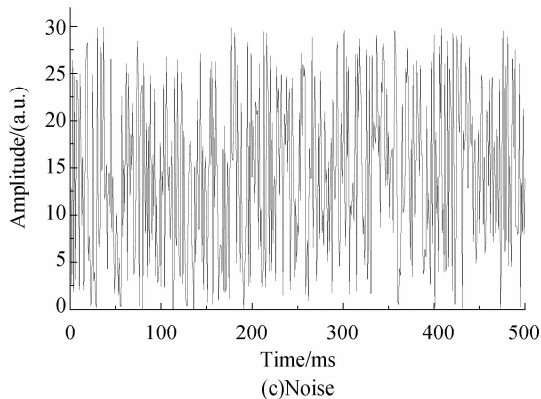
Parameter	Form	Amplitude	Frequency/Hz	Period
Original signal	$\exp[\sin(2\pi ft)]$	$e-1/e$	13	—
Pseudo-random sequence	m sequence	1	$N_c=20$	$2^{12}-1$
Interference signal	$\sin^2(2\pi ft)$	80	20,45,95	-
Noise	White noise	30	-	-
Narrow-band filter	Low-pass filter	1	$B_f=40$	-
Frequency response	k	1	-	-
Comb filter	Band-pass	1	20,40,⋯,400	-



(a)Original signal



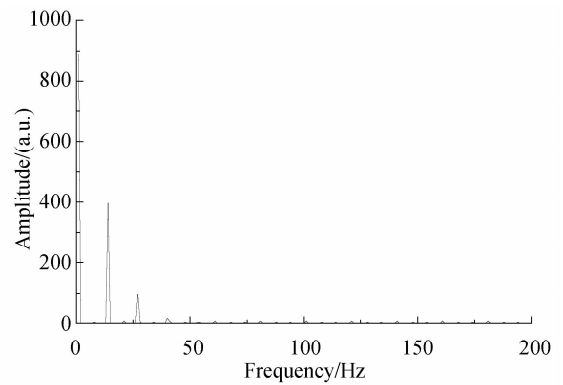
(b)Disturbance



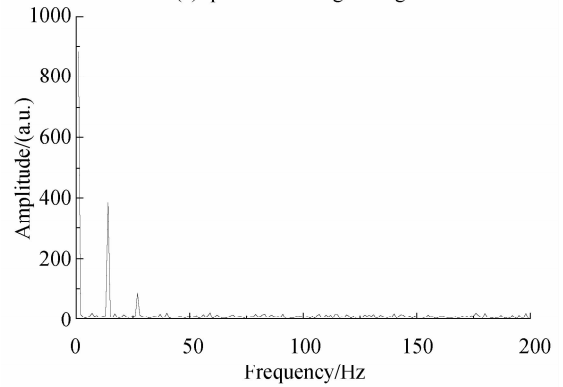
(c)Noise

图2 信号、干扰和噪音

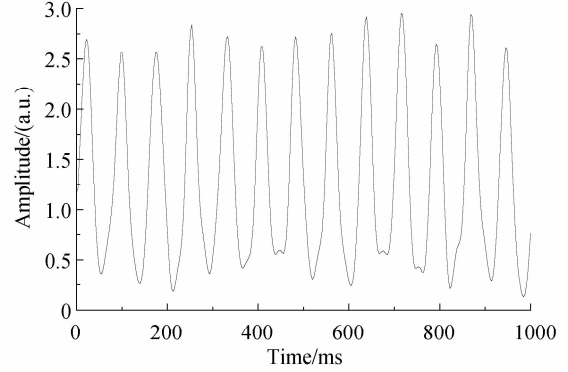
Fig.2 Original signal interference signals and noise



(a)Spectrum of original signal



(b)Spectrum of signal after despreading



(c)Output signal

图3 信号的频谱及滤波后的输出信号

Fig.3 Spectra of signals and the output signal after filter

始信号相比已经很相似,这是在信噪比为 -32.1 dB 时的测量结果,信号的误差为 0.11 ,相对误差为 4.2% 。

3 实验

实验用周期 $2^{10}-1$ 的伪随机序列调制半导体激光器,输出光经过斩波器,斩波频率 50 Hz,然后注入聚合物光纤,光纤长度 20 m. 输出端用光电二极管接收,经放大后,用 LabVIEW 控制的数据采集

卡采集数据,存入计算机. 图 4 中(a)是未调制光斩波后的信号,即原始信号;(b)是调制、斩波后通过光纤传输的光信号,明显可见干扰和噪音;(c)是经过解扩滤波后得到信号,干扰和噪音基本上都被消除了,包括与斩波频率相近 50 Hz 交流电的干扰. 与原始信号比较,输出信号的误差值为 0.013 ,相对误差为 0.71% ,与仿真实验相比,测量精度高一些,原因是实验中的干扰和噪音相对要小一些。

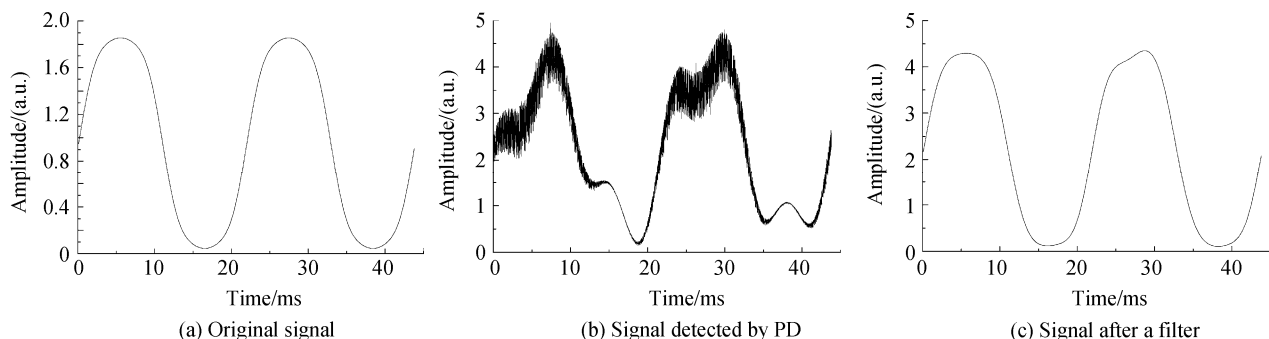


图 4 实验结果

Fig. 4 Experimental results

4 结论

聚合物光纤的带宽一般至少有几兆赫兹,因此可以使用带宽 1 MHz 左右的扩频序列调制光信号,使用这种扩频信号对光纤的性能进行测试,可以有效地抑制原始信号带宽内的各种干扰和噪音. 在信噪比小于 -20 dB 的情况下,可以有效地检测原始信号,提高了测量的精度,这种方法可以用于光纤衰减以及偏振等性能的测量,也可以由于其他光学测量系统。

参考文献

- [1] YU Rong-jin. Plastic Optical Fiber for Communication [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2002, **13**(3): 315-320.
于荣金,通信塑料光纤[J],光电子·激光,2002, **13**(3): 315-

320.
[2] A POLLEY, S E RALPH. 100 m, 40 Gb/s Plastic optical fiber link [C]. Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference. Piscataway: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society, 2008: 1-3.
[3] WIN M Z, SCHOLTZ R A. Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 2000, **48**(4): 679-691.
[4] Editor's groups for this special. Ultra wide-band radio technology [J]. *Journal on Communications*, 2005, **26**(10): 2-6.
本专辑责任编辑委组,超宽带无线电技术[J]. 通讯学报, 2005, **26**(10): 2-6.
[5] TSUI T S D, CLARKSON T G. Spread-spectrum communication techniques [J]. *Journal of Electronics & Communication Engineering*, 1994, **6**(1): 3-12.

An Application of the Principle of Spread Spectrum Communication to the Measurement of Polymer Optical Fiber Properties

ZHANG Bao-rong^a, ZHENG De-zhong^b, YU Rong-jin^b

(a. School of Information Science and Engineering;

b. School of Electric Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066004, China)

Abstract: A new method for the measurement of polymer optical fiber (POF) properties based on the principle of spread spectrum communication is introduced. The spectrum of optical signal is spread by modulation using pseudo-random sequences (PNs) and injected into the POF, and the output optical signal is detected by a photoelectric diode then dispread with the original PNs. According to the principle of spread spectrum communication, the interference and noise after the process of disspreading are bated effectually, the signal-noise ratio (SNR) of the signals after disspreading improves evidently, and the measurement accuracy of signal waveform increases. The results from simulations and experiments show that this method can be used to detect week signal waveform under a background of strong noise and interference where the SNR is -20 dB or under.

Key words: Spread spectrum communication; Pseudo-random sequence; Weak optical signal; Sigal-Noise Ratio(SNR)



ZHANG Bao-rong is a Ph. D. degree candidate at Yanshan University, and her research interests focus on polymer optical fibers and microstructured optical fibers.