

高速光纤通信测量技术的发展趋势

杨爱英¹, 陶然², 忻向军³

1. 北京理工大学光电学院, 北京 100081
2. 北京理工大学信息与电子学院, 分数域信号与系统研究所, 北京 100081
3. 北京邮电大学电子工程学院, 北京 100876

摘要 光纤通信单信道速率持续向 100 Gbit/s 甚至更高发展, 对测量仪器的带宽提出了更高的要求。由于电子瓶颈的限制, 传统的电示波器极限带宽在 70 ~ 90 GHz。目前能够测量 100 Gbit/s 光通信信号的电示波器技术难度和成本越来越高。为了突破电子瓶颈的限制, 需要采用新的采样机理对超高速光通信信号或超宽带光信号进行测量。介绍了光域采样的基本原理和相应的光采样示波器及光采样示波器研发的进展。随着信道速率的不断提高, 光纤链路的物理损伤对信号的影响越来越显著, 如何监测光纤链路的物理损伤成为超高速光通信网需要解决的问题。基于对光物理层损伤的研究, 提出了采用分数阶傅里叶变换测量光纤链路色散和非线性效应的方法, 并对高速光纤通信链路的测量技术发展作了展望。

关键词 光通信; 光采样; 色散; 非线性; 分数阶傅里叶变换

自从低损耗光纤发明以来, 光纤通信技术突飞猛进地发展, 成为现代通信与互联网的技术基础。基于 10 Gbit/s 波分复用(WDM)技术的光纤通信网已成为国家信息基础设施中信息传输的主要承载平台。为满足网络流量指数式增长的需求, 国内已经实现了 100 G 光纤传输网络的商业化; 400 G 光纤传输技术日趋成熟, 其标准化工作正在稳步推进中。与此同时, 在国家重大科技计划的支撑下, 多个科研单位对单信道 Tbit/s 高速光纤通信系统的研究与开发进行技术攻关^[1-12]。在光纤通信系统中, 当信道速率为 100 Gbit/s 以上、甚至 Tbit/s 时, 其中的器件工作在 ps 时间尺度。在这个时间尺度上, 光信号的脉冲宽度与物理介质的原子、分子运动周期相当, 光与物理介质相互作用的量子特征成为信息科学中的基本问题。对这些基本问题的研究, 就需要准确测量光纤通信系统中各种物理介质在 ps 尺度上的响应以及 100 Gbit/s 以上光通信信号的质量, 为研究限制光电器件速度和系统容量提高的机制提供依据, 也为提出改进途径或新器件提供科学数据。因此, 研究高速光纤通信信号的测量原理和实现方法对促进超高速光通信的研究与开发、提高光通信速率与容量具有重要的意义。

1 高速光通信信号测量技术介绍

对光通信信号测量的方法主要有时域和频域两类。时域测量最常用的仪器是示波器, 频域测量最常用的仪器是光

谱仪。作为一种用途广泛的电子测量仪器, 示波器能把肉眼看不见的电信号变换成看得见的图像, 便于人们研究各种电现象的变化过程, 因此在设计方面(尤其是信号完整性方面)也是至关重要的工具。

1.1 光电混合型宽带示波器

目前, 对光信号进行时域测量的常用设备为光电混合型示波器。这类示波器本质上是带光接口的电示波器, 其基本原理是: 光信号从测量通道输入示波器, 经过光电转换和模数变换(A/D)采集数据, 采集数据送入存储单元后进行数据处理, 再经过数模(D/A)转换和输出放大, 最后输入显示器显示。光电混合型示波器需要高速光电变换和信号处理电路。目前, 光电探测器的最快响应时间在皮秒量级, 信号处理电路的极限带宽为 70 ~ 90 GHz, 因此光电混合型示波器难以对带宽为纳米量级的光信号进行测量。而且, 光电混合型示波器测量高速光通信信号时, 需要复杂的时钟同步电路, 存在信号速率与调制格式不透明、系统构成复杂及价格昂贵等缺点。因此, 由于电子瓶颈的限制, 光电混合型示波器很难直接对宽带光信号(包括信道速率达到 100 Gbit/s 以上的超高速光通信信号或超短光脉冲)进行无失真时域测量^[13-14], 必须研究新的原理和方法对宽带光信号进行时域测量。

1.2 超宽带光采样示波器

光电混合型电示波器对宽带光信号测量能力的局限本质上来自于电信号处理速度的限制。近几年研究人员提出

收稿日期: 2016-06-30; 修回日期: 2016-08-01

基金项目: 国家自然科学基金重大仪器专项(61427813); 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA013401)

作者简介: 杨爱英, 教授, 研究方向为光通信, 电子信箱: yangaiying@bit.edu.cn

引用格式: 杨爱英, 陶然, 忻向军. 高速光纤通信测量技术的发展趋势[J]. 科技导报, 2016, 34(16): 154-158; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.16.020

采用超快光信号处理技术取代传统的电信号处理技术,以克服光电转换过程、电子器件和电路所产生的带宽瓶颈,并由此发展了超宽带光采样示波器。图1为超宽带光采样示波器的原理图^[15-16];在超快光采样门,基于介质的超快非线性光学过程较低重复率的飞秒光脉冲对超高速光信号进行光域降频采样。基于非线性过程的光采样称为非线性光采样,非线性光采样信号经过低速光电探测器转变成电信号,再经后续一系列电处理,测量周期性超短光脉冲的波形、重复周期、上升时间/下降时间和脉冲宽度等参数,或测量高速光数据信号眼图、码型、 Q 因子及时间抖动等参数。图2^[11]为160 Gbit/s的光信号通过降频光采样测量眼图的信号变化过程。图3为基于非线性光采样的超宽带光采样示波器对超快光波形和超高速光数据信号的测量结果^[17]。

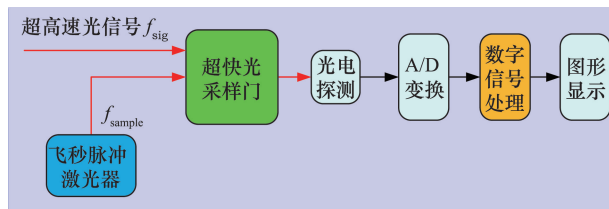


图1 超宽带光采样示波器原理

Fig. 1 Operation principle of ultra-wide bandwidth optical sampling oscilloscope

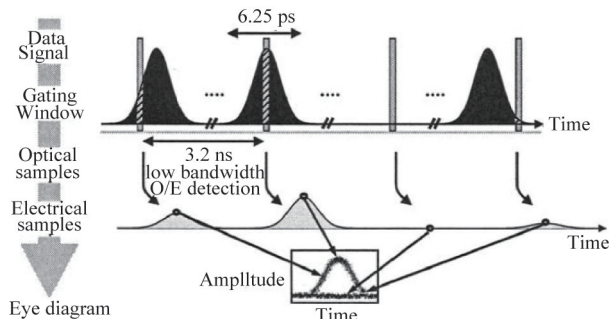


图2 160 Gbit/s 光通信信号通过降频光采样测量眼图的过程
Fig. 2 Measurement process of a 160 Gbit/s optical signal with sub-rate optical sampling

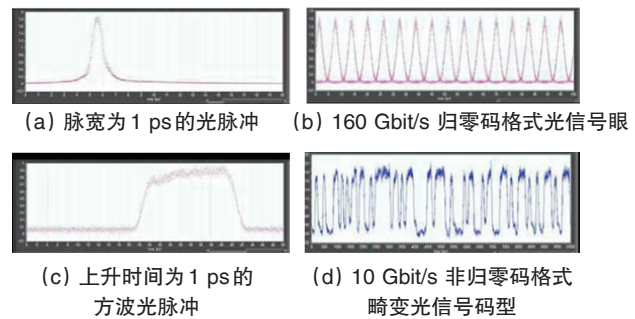
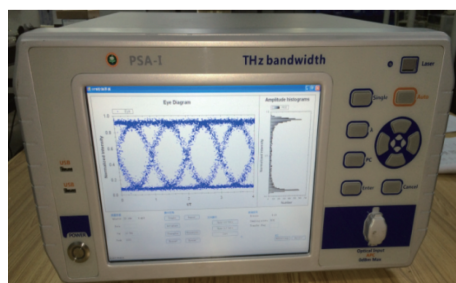


图3 超宽带光采样示波器对超高速光数据信号与超快光波形的测量

Fig. 3 Measurement of ultra-fast optical pulses or ultra-high speed optical data signal by an ultra-wide bandwidth optical sampling oscilloscope

降频光域采样也可以采用光学混波与低速平衡探测的方案实现,该方案称为线性光采样。线性光采样可以测量宽带光信号的幅度和相位变化,并能测量复杂调制格式超高速光信号的星座图和误差矢量幅度。基于降频光采样的超宽带光采样示波器不需要高速光电探测器,降低了对时钟同步电路与后续处理电路的带宽要求,能极大地提高测量时间精度,克服电子瓶颈的限制,可测量的信号带宽达THz,时间分辨率达亚皮秒量级。

基于降频光采样的超宽带光采样示波器是伴随超高速光纤通信技术而发展起来的一种新型高性能测试设备,是目前研究和开发单波长超高速光纤通信设备、系统和网络的测试设备。国际知名的设备制造公司、光通信技术研究机构和实验室,如日本Yokogawa公司、美国贝尔实验室、普林斯顿大学、Agilent公司、德国HHI研究所和瑞典Chalmers理工大学等,都先后报道了采用不同方式实现超宽带光采样示波器的研究^[17-33]。日本Alnair公司曾研制出带宽达500 GHz的皮秒级全光采样示波器,加拿大EXFO公司则有PSO-100和PSO-200两个系列的超高速光采样示波器^[33]。北京理工大学也已经研制两款光采样示波器样机,基于非线性光采样示波器,可对强度调制格式光通信信号测量基于线性光采样的光采样示波器,可对复杂调制格式光通信信号测量(图4)。



(a) 基于非线性光采样示波器



(b) 基于线性光采样的光采样示波器

图4 北京理工大学研制的超宽带光采样示波器样机

Fig. 4 Prototype ultra-wide bandwidth optical sampling oscilloscope researched and developed by Beijing Institute of Technology

图4(a)为基于非线性光采样的光采样示波器样机,可对强度调制格式光通信信号测量;图4(b)为基于非线性光采样的光采样示波器样机,可对强度调制格式光通信信号测量。

1.3 高速光通信信号频域测量方法

理论上,一个信号可以通过时域或频域方法来完全描述。因此实际测量中,通常借助示波器和频谱仪对信号进行时域频域测量,以便比较全面地分析信号的特性。对宽带光信号的频域测量仪器是光谱仪。传统光谱仪通常基于体光栅结构测量光信号功率或强度随频率变化的曲线,但不能测量相位、啁啾等信息。因此,同样的光谱其时域特性有可能完全不同。

平稳光信号的光谱不随时间变化,可以通过光谱仪分析其幅度频域特性。如被测光信号是非平稳光信号,其光谱随时间变化,在光谱仪上可以直观地看到这种变化,但对这种变化目前尚没有很好的办法定量分析。这是目前测量光纤链路信号受色散和非线性效应影响的高速光通信信号所面临的难点问题。因色散使不同频率成分的光信号在介质中的传输时间不同,可以看作是频域的啁啾。非线性效应使光信号的瞬时相位随着光强的变化而变化,从而导致光信号的瞬态频率随时间变化,可看作是时域的啁啾。因此,受光纤六安路色散和非线性损伤的光通信信号是带啁啾的非平稳信号。

在高速光通信领域,随着信道速率提高到 100 Gbit/s 以上,信号脉冲宽度越来越窄,光纤中的物理因素(色散、非线性效应、偏振模色散)对光通信信号的影响凸显出来。因此,高速光纤传输链路输出的信号是非平稳光信号。随着强大的数字信号处理技术的进步,各种新型调制格式和相干接收技术在高速光通信系统得到了应用。在这类光纤通信系统中,采用数字信号处理技术在通信终端或中间节点可以对光纤色散和偏振模色散引起的畸变进行电域均衡或补偿,但是尚没有便捷的办法对这些因素进行在线监测。此外,非线性效应测量与补偿一直是高速光纤通信面临的难点。因此,从测量性能和功能的角度来说,采用光谱仪和示波器对超高速光纤通信系统或链路测量是远远不够的;光通信信号的很多特征无法测量出来,只能通过误码仪测出数字信号的误码率以衡量通信的质量,但对影响通信质量的因素却无法定量分析。

2 分数阶傅里叶变换在光纤通信测量中的应用

2.1 分数阶傅里叶变换

傅里叶变换能够很好地分析确定信号或平稳的随机信号。但对非平稳信号,其局部性能需要使用时域和频域的二维联合表示才能得到精确的描述。分数阶傅里叶变换将相对独立的时域和频域信息联系起来,将一维的时域信号映射为二维的时频平面,反映了信号随时间变化的时频分布特征。

一般地,函数 $f(u)$ 的 p 阶傅里叶变换可以表示为 $f_p(u)$ 或 $F^p f(u)$,可以解释为算子 F^p 作用于函数 $f(u)$,其结果在 u 域上。分数阶傅里叶变换的基本定义为^[34]

$$f_p(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_p(u,t) f(t) dt \quad (1)$$

$$\text{其中, } K_p(u,t) = \begin{cases} A_\sigma \exp[j\pi(u^2 \cot\alpha - 2ut \csc\alpha + t^2 \cot\alpha)], \alpha \neq n\pi \\ \delta(u-t), \alpha = 2n\pi \\ \delta(u+t), \alpha = (2n \pm 1)\pi \end{cases}$$

为分数阶傅里叶变换的核函数, p 为分数阶次, $u = t \cos\alpha + \omega \sin\alpha$, $A_\sigma = \frac{\exp[-j\pi \operatorname{sgn}(\sin\alpha)/4 + j\alpha/2]}{|\sin\alpha|^2}$, $\alpha = \frac{\pi}{2} p$, n 为整数。

如图5所示,傅里叶变换 $F\{f(t)\}$ 可以认为是将函数 $f(t)$ 旋转 $\frac{\pi}{2}$,由 t 轴变到 ω 轴的表示形式。同理,对函数 $f(t)$ 做 p 阶傅里叶变换,等同于算子 F^p 将函数 $f(t)$ 逆时针旋转 $\alpha = \frac{\pi}{2} p$ 角度。

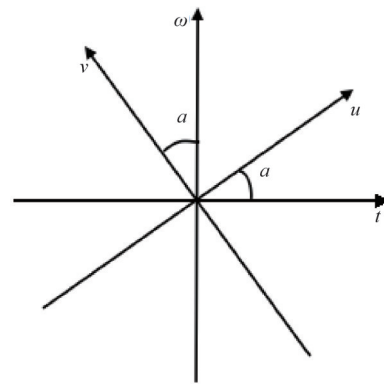


图5 分数阶傅里叶变换时频平面旋转示意

Fig. 5 Diagram of fractional Fourier transform in time-frequency plane

根据分数阶傅里叶变换的逆变换 $x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X_p(u) K_{-p}(t,u) du$

可知,信号 $x(t)$ 的分数阶傅里叶变换 $X_p(u)$ 可看作 $x(t)$ 在以逆变换核 $K_{-p}(t,u)$ 为基的函数空间上的展开。同时, $K_{-p}(t,u)$ 是 u 域上的一组正交啁啾基。因此一个输入的啁啾信号在经过分数阶傅里叶变换后是一个冲击函数,即 p 阶啁啾变换对给定的啁啾信号有很好的能量聚集特性。因此很容易利用分数阶傅里叶变换提取啁啾信号包含的信息。

2.2 分数阶傅里叶变换在光纤链路特性测量中的应用

目前分数阶傅里叶变换已经广泛用于科学研究和工程技术的很多领域,如扫频滤波器、人工神经网络、小波变换、时频分析、时变滤波及多路传输等。另外,它还在解微分方程、量子力学、衍射理论和光学传输、光学系统和光信号处理、光图像处理等众多方面有较为广泛的应用。

光信号在光纤中传输时,会因为光纤本身的性质产生非线性、色散现象,分别在时域和频域上对信号产生啁啾效应,使之成为啁啾信号。啁啾信号作为一种非平稳信号,在时域和频域上都有较大的时宽和带宽,采用传统的处理平稳信号

的测量方式去分析不理想。分数阶傅里叶变换对啁啾信号有很好的检测和识别效果,对光纤链路传输的信号进行分数阶傅里叶变换可以定量的测量由光纤色散产生的频域啁啾或者由光纤的非线性效应产生的时域啁啾,并由啁啾测量光纤链路累积的色散和非线性效应。文献[35]中提出了基于分数傅里叶变换测量光纤链路的色散和非线性效应,图6(a)显

示了光纤链路传输的光信号脉冲序列经过分数阶傅里叶变换的幅度 $|A|$ 随分数阶次 p 与分数域变量 u 的变化,由图上可以看出幅度谱的能量汇聚效应。由幅度谱的能量汇聚效应确定分数阶傅里叶变换的最优分数阶次,进而测量光纤链路积累的色散,由图6(b)可知通过分数阶傅里叶变换测量的色散与参考值之间的误差不到1%。

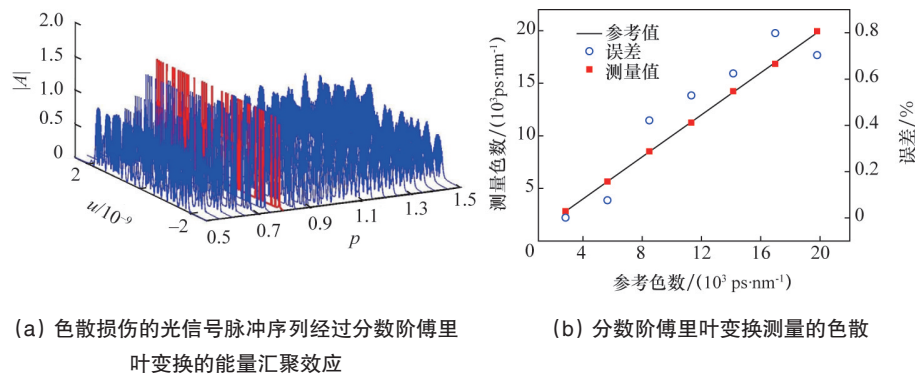


图6 采用分数阶傅里叶变换测量光纤链路的累积色散

Fig. 6 Measurement of accumulated chromatic dispersion along a fiber link by fractional Fourier transform based method

3 结论与展望

与传统的电示波器相比,光采样示波器不存在电子瓶颈的限制,时间测量精度可以达到亚皮秒,光信号测量带宽可以达到THz量级,为超高速光通信或超宽带光信号测量提供了强大的测量手段。基于线性光采样的光采样示波器更是为测量复杂调制格式的超高速光通信信号提供了有效的手段。随着100 G光通信设备与系统的商用,光纤链路物理损伤的监测和均衡越来越重要,尤其是光纤非线性效应的监测和均衡。提出了采用分数阶傅里叶变换测量光纤链路色散和非线性效应的方法,并将在光通信的测量仪器上实现色散和非线性效应定量测量的功能。

参考文献(References)

- [1] Murai H, Kagawa M, Tsuji H, et al. EA modulator based optical time division multiplexing/demultiplexing techniques for 160 Gb/s optical signal transmission[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2007, 13(1): 70-78.
- [2] Mulvad H C H, Tangdionga E, Raz O, et al. 640 Gbit/s OTDM lab-transmission and 320 Gbit/s field-transmission with SOA-based clock recovery[C]//Proceedings of Optical Fiber Communication Conference, San Diego: Optical Society of America, 2008: OWS2.
- [3] Schmidt-Langhorst C, Ludwig R, Hu H, et al. Single-channel 1-Tb/s transmission over 480 km DMF for future terabit ethernet systems[C]//Proceedings of Optical Fiber Communication Conference, San Diego: Optical Society of America, 2008: OTuN5.
- [4] Hansen Mulvad H C, Oxenlwe L K, Galili M, et al. 1.28 Tbit/s single polarisation serial OOK optical data generation and demultiplexing[J]. Electronics Letters, 2009, 45(5): 280-281.
- [5] Hansen Mulvad H C, Galili M, Oxenlwe L K, et al. Demonstration of 5.1Tbit/s data capacity on a single-wavelength channel[J]. Optics Express, 2010, 18(2): 1438-1443.
- [6] Azana J, Oxenlwe L K, Palushani E, et al. In-fiber subpicosecond

- pulse shaping for nonlinear optical telecommunication data processing at 640 Gbit/s[J/O]. International Journal of Optics, [2016-06-18]. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/895281>. Doi:10.1155/2012/895281.
- [7] Zhu B, Peckham D, Yan M, et al. Recent progress in transmission fibers for capacity beyond 100-Tbit/s[C]//Optical Fiber Communication Conference. Los Angeles: Optical Society of America, 2012: OW1D. 5.
- [8] Cai J X, Davidson C R, Lucero A, et al. 20 Tbit/s transmission over 6860 km with sub-nyquist channel spacing[J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(4): 651-657.
- [9] Ming L, Cai L, Tao J, et al. 4×193 Tbit/s 8-PSK DFT-S coherent optical OFDM transmission over 2240 km SSMF[J]. Electronics Letters, 2012, 48(23): 1484-1486.
- [10] Rahn J T, Han S, Kuang-T W, et al. Real-time PMD tolerance measurements of a PIC-based 500 Gb/s coherent optical modem[J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(17): 2907-2912.
- [11] Rene J E, Robert W T. Capacity trends and limits of optical communication networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(5): 1035-1055.
- [12] Xia T J, Wellbrock G. 100 G technology development for optical transport networks[C]//Proceedings of Opto-Electronics and Communications Conference, Kaohsiun: IEEE, 2011: 395-396.
- [13] Andrekson P. High resolution optical waveform and eye diagram monitoring[C]//Proceedings of Optical Fiber Communication Conference, San Diego: Optical Society of America, 2007: 1-3.
- [14] Schmidt-Langhorst C, Weber H G. Optical sampling techniques[J]. Journal of Optical and Fiber Communications Reports, 2005, 2(1): 86-114.
- [15] Westlund M, Sunnerud H, Karlsson M et al. Software-synchronized all-optical sampling for fiber communication systems[J] Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(3): 1088-1099.
- [16] Shake I, Takara H, Kawanishi S et al. Optical signal quality monitoring method based on optical sampling[J]. Electronics Letters, 1998, 34(10): 2152-2154.
- [17] Yamada N, Ohta H, Nogiwa S. Optical sampling system using passively mode-locked fiber laser with KTP crystal[J]. IEICE Transactions on Electronics, 2003, E86C(9): 1816-1823.
- [18] Kawanishi S, Yamamoto T, Nakazawa M. High sensitivity waveform measurement with optical sampling using quasi-phase matched mixing

- in LiNbO₃ waveguide[J]. Electronics Letters, 2001, 37(13): 842-844.
- [19] Estlund M, Andrekson P A, Sunnerud H. High-performance optical-fiber-nonlinearity-based optical waveform monitoring[J]. Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(6): 2012-2022.
- [20] Jinno M, Schlager J B, Franzen D L. Optical sampling using non-degenerate four-wave mixing in a semiconductor laser amplifier[J]. Electronics Letters, 1994, 30(18): 1489-1491.
- [21] Diez S, Ludwig R, Schmidt C. 160 Gb/s optical sampling by gain-transparent four-wave mixing in a semiconductor optical amplifier[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1999, 11(11): 1402-1404.
- [22] Chen S M, Aderson T, Hewitt D et al. Optical performance monitoring for OFDM using low bandwidth coherent receivers[J]. Optics Express, 2012, 20(27): 28724-28733.
- [23] Wang M H, Sang S H. An optical performance monitoring model based on RBF-ANN trained with eye-diagram[J]. Procedia Engineering, 2012, 29: 53-57.
- [24] Ribeiro W, Costa L, Lima M, et al. Optical performance monitoring using the novel parametric asynchronous eye diagram[J]. Optics Express, 2012, 20(9): 9851-9856.
- [25] Souza F R D, Ribeiro M R N. An optical performance monitoring method for Carrier Ethernet networks using OAM continuity check messages [J]. Photonic Network Communications, 2012, 23(1): 74-82.
- [26] Ciaramella E, Peracchi A, Banchi L, et al. BER estimation for performance monitoring in high-speed digital optical signals[J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(13): 2117-2124.
- [27] Vo T D, Schroder J, Corcoran B, et al. Photonic-chip-based ultrafast waveform analysis and optical performance monitoring[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2012, 18(2): 834-846.
- [28] Nogiwa S, Ohta H, Kawaguchi Y. Optical sampling system using a periodically poled Lithium Niobate Crystal[J]. IEICE Transactions on Electronics, 1999, E85C(1): 471-472.
- [29] Li J, Westlund M, Sunnerud H, et al. 0.5 Tbit/s eye-diagram measurement by optical sampling using XPM-induced wavelength shifting in highly nonlinear fiber[J]. IEEE Photonic Technology Letters, 2004, 16(2): 566-568.
- [30] Schmidt C, Schubert C, Watanabe S, et al. 320 Gb/s all-optical eye-diagram sampling using gain-transparent ultrafast nonlinear interferometer(GT-UNI) [C]//Proceedings of European Conference on Optical Communication. Copenhagen: IEEE, 2002: 1-2.
- [31] Set S Y, Goh C S, Wang D. Non-synchronous optical sampling and data-pattern recovery using a repetition-rate-tunable carbon-nanotube pulsed laser[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2008, 47(8S1): 6809-6811.
- [32] Westlund M, Sunnerud H, Karlsson M, et al. Software-synchronized all-optical sampling[C]//Proceedings of Optical Fiber Communication Conference, San Diego: Optical Society of America, 2003, 1(2): 409-410.
- [33] 陶然. 分数阶 Fourier 变换的原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
Tao Ran. Principle and applications of fractional Fourier transformation [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [34] 杨爱英, 陈晓宇. 分数阶傅里叶变换测量光纤链路色散的方法: 201410752087.8[P]. 2015-03-25.
Yang Aiying, Chen Xiaoyu. A method based on fractional Fourier transformation for measuring chromatic along a fiber link: 201410752087.8[P]. 2015-03-25.
- [35] 杨爱英, 陈晓宇. 采用分数阶傅里叶变换监测光纤链路非线性效应的方法: 201510415663.4[P]. 2015-10-07.
Yang Aiying, Chen Xiaoyu. A method based on fractional Fourier transformation for measuring nonlinear effect along a fiber link: 201510415663.4[P]. 2015-10-07.

Technology development trend for high speed optical fiber communication measurement

YANG Aiying¹, TAO Ran², XIN Xiangjun³

1. School of Photoelectric, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
2. Institute of Fractional Signals and Systems, School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
3. School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract Single channel rate for optical fiber communication has been up to 100 Gbit or even higher, thus a higher and higher bandwidth of the measuring instrument is required. Due to the limitation of electronic bottleneck, the bandwidth limit is 70~90 GHz. At present, difficulty and cost for an electric oscilloscope to be able to measure 100 Gbit/s optical communication signals are increasing. In order to break through the limitation of electronic bottleneck, some new sampling mechanism is needed to measure the ultra high speed optical communication signal or the ultra wide band optical signal. This paper introduces the basic principle of optical field sampling and the corresponding optical sampling oscilloscope that has the advantages of high time precision and ultra wide band measurement. Also introduced are the development progresses of optical sampling oscilloscope made by the authors' research group and foreign counterparts. In addition, with continuous improvement on channel rate, the influence of physical damage of optical fiber link on signal is becoming more significant. Therefore, how to monitor physical damage turns to be a problem in the ultra high speed optical communication network. A method of measuring the dispersion and nonlinear effect of optical fiber link based on fractional Fourier transform is presented. In the end, the development of measurement technology for high speed optical fiber communication link is prospected.

Keywords optical communication; optical sampling; dispersion; nonlinear; fractional Fourier transform

(编辑 傅雪)