开发超宽带光学取样示波器工程化样机

张建国*, 刘元山

中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119

* 通信作者. E-mail: zhangjg@opt.ac.cn

收稿日期: 2012-09-06; 接受日期: 2012-09-12

中国科学院科研仪器设备研制项目 (批准号: YZ200759) 和中国科学院、国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划资助课题

摘要 简短介绍了超宽带光学取样示波器设备的自主研发工作. 通过对光脉冲取样源和全光波形取样门进行创新性设计并且使用新的计算机软件算法对后端数据进行分析处理, 成功开发出高可靠性、结构紧凑、光纤型超宽带光学取样示波器工程化样机, 并掌握了其工程设计的方法.

关键词 光学取样示波器 光通信 超快光信号处理 锁模激光器 光纤

1 引言

高清晰度电视、三维电视、云计算、光纤到户和移动视频等业务的普及应用导致全球网络数据流量的急剧增加并对宽带信息通信技术提出了强劲的需求, 从而促进了三网融合、千兆位 (Gbit/s) 级宽带接入和万兆无源光网络的推广应用. 这必将对城域网和骨干网的运行提出超高速、大容量传输的承载要求. 在国际上, 100 Gbit/s 以太网已于 2010 年正式获得了商业应用, 由此开启了以 100 Gbit/s 系统规模部署为标志的全球超高速光纤网络建设热潮. 另外, 速率高达 400 Gbit/s 和 1 Tbit/s 的下一代光以太网标准化制定工作现已受到国际电讯业界的关注^[1], 预计它将于 2017 年左右制定完成.

光纤通信系统与网络的实现、运行和维护过程必须借助于各种测试仪器设备来完成. 宽带示波器现已成为研发超高速光通信系统与网络的一种关键性测试仪器, 其主要作用是测量超高速光信号的波形/眼图及其相关参数和超高速光通信系统的传输质量, 并对系统的各功能模块优化设计提供重要的依据. 随着通信速率的不断提高, 用于传递数据信息的光脉冲信号就会变得越来越窄^[1]. 这势必对光通信系统及其测试仪器设备的工作带宽提出更高的要求. 可是, 电子器件的“速率瓶颈效应”问题导致了现有电子示波器的最大测量带宽被限制到约 100 GHz 的水平. 以此为基础, 通过级联超快光电探测器的方式所构成的“光—电混合型”宽带示波器已无法满足研发超高速光通信系统与网络的需要. 因此, 新一代示波器系统的设计就必须采用基于超快全光信号处理技术的新系统结构和实现方法^[1]. 如何开发出与超高速光通信系统/网络相匹配的先进光学测试仪器设备目前已成为国际光通信技术和仪器设备制造领域里的一个研究热点.

引用格式: 张建国, 刘元山. 开发超宽带光学取样示波器工程化样机. 中国科学: 信息科学, 2012, 42: 1481–1484, doi: 10.1360/112012-545

2 超宽带光学取样示波器技术特征

超宽带光学取样示波器是伴随超高速光通信技术的发展, 于 90 年代中期出现的一种新型测量设备^[1]. 它是集超快非线性光学、飞秒激光技术、通信技术、光纤与光电器件、高精度模—数转换、数字信号处理、图形显示技术、元器件封装、精密测量、计算机控制于一体的尖端仪器. 光学取样示波器使用超快全光信号处理技术实现对超高速光数据信号或超短光脉冲波形的高精度取样, 再通过光电转换和电子模—数转换过程将光域里取样后获取的有关被测光信号的特征信息转换成能被普通计算机分析与处理的电子数据信号, 最后借助于数字信号处理和图形显示技术, 在计算机上重现被测超高速光数据或超短光脉冲的信号波形, 并完成对光信号的多种参数之精确测量. 这种先进的取样示波器具有工作带宽大和时间分辨率高的优点. 事实表明, 超宽带光学取样示波器的应用有力地推进了超高速光通信技术的向前发展, 是确保单波长超高速光通信系统得以实现的关键性测量设备. 该取样示波器的实现需要使用不同于常规电子示波器设计和制造的新方法. 目前传统示波器生产厂商还不具有对此新技术的竞争优势. 现在真正获得应用的超宽带光学取样示波器产品仅在最近 3 年才由位于瑞典和日本的两家新公司推出.

3 超宽带光学取样示波器工程化样机的自主研发工作

超宽带光学取样示波器技术是一个实验性很强且涉及到多学科的研究领域. 在 2006 年以前, 国内光通信与光信号处理学界尚未开启该项技术的研究工作. 我们关于超宽带光学取样示波器设备研制的课题于 2007 年获得中国科学院立项支持, 重点解决硬件设计和整机系统实现的问题. 虽然这项研制工作的难度很大, 但由于我们确立了从研制高稳定性、低抖动皮秒/飞秒脉冲光源和高可靠性超快全光波形取样门两大核心硬件技术入手的可行实施方案, 为后期实验样机系统的按时完成奠定了基础. 我们为此设计出了一种新型的重复频率可调、定时抖动低、工作稳定性高的被动锁模飞秒光纤激光器^[2]; 同时我们使用一根商用化高非线性光纤, 构建了一个基于四波混频效应的超快全光波形取样门, 从而完成了光学取样示波器核心硬件系统的全光纤化设计^[3]. 为了免除传统的时钟恢复电路以便简化硬件系统, 我们借鉴了当时国际上先进的“软件同步取样”方法, 自主开发出了计算机软件算法用于获取所需要的同步信息和正确重现被测数据信号的波形或眼图以及自动测量光脉冲信号的有关参数^[3,4]. 本课题组于 2009 年在国内首次报道研制成功超宽带光学取样示波器的实验样机 (时间分辨率为 1.43 ps)^[3], 随后通过系统优化将时间分辨率改进到 0.87 ps^[5]. 该实验样机采用了全光纤化的光学硬件系统设计方案并且使用了商用化的, 特别是电讯系统常用的光子器件, 因此它具有硬件结构较简单、成本低和易于实现的优点. 通过完成这项研究工作, 我们初步掌握了光学取样示波器工程化设计的方法.

为了解决超宽带光学取样示波器设备的小型化和工程化设计以及未来的产业化问题, 我们重新研究和设计出了一款高可靠性、结构紧凑、重复频率可自动调节的新型被动锁模飞秒光纤激光器. 其显著特点是无需温度控制即可在 10°C 至 40°C 温度范围内保持稳定的锁模运行, 并且易于工程化实现. 同时, 我们还在国际上首次提出了采用色散平坦高非线性光子晶体光纤实现可工作于宽波长范围、结构简单的超快全光波形取样门的方案^[6], 而且通过实验验证了基于该波形取样门的光学取样示波器系统具有 0.64 ps 的时间分辨率. 在这两项新硬件设计方案的基础上, 通过改进计算机软件算法和增加新的软件控制功能, 我们近期成功开发出超宽带光学取样示波器工程化样机 (如图 1 所示), 为将来的产业化发展做准备. 它具有开机自启动、长期工作稳定性高、光纤型结构、全商用化器件实现、工作波

图 1 自主开发的超宽带光学取样示波器工程化样机

Figure 1 Our developed, engineered prototype of ultra-wideband optical sampling oscilloscope

图 2 使用超宽带光学取样示波器工程化样机测量脉宽为 1.8 ps、重复频率为 10 GHz 的光脉冲序列

Figure 2 A 10 GHz optical pulse sequence with 1.8ps pulsewidth measured by the engineered prototype of ultra-wideband optical sampling oscilloscope. (a) Display of optical pulse sequence; (b) single pulse display

长范围宽和温度范围较大等特点. 图 2 显示了两个测试结果例子, 其波形质量好. 该工程化样机的整体尺寸为长 46.4 cm、宽 22.9 cm、高 35.6 cm.

4 结论

超宽带光学取样示波器工程化样机的研制成功改变了国内在这一新兴技术领域缺乏实验性和系统性开发的被动局面. 通过完成此项目, 我们积累了实际研发经验, 攻克了超宽带光学取样示波器的核心技术难题并掌握了该设备的工程设计方法. 预计超宽带光学取样示波器将是我国有希望在尖端仪器设备制造领域与世界科技强国争夺超高端测量仪器市场的少数产品之一.

致谢 感谢西安光学精密机械研究所赵卫所长和陈国夫教授对本课题组的大力支持和帮助.

参考文献

- 1 Zhang J G, Liu Y S. Development of ultra-wide bandwidth all-optical sampling oscilloscope equipment. *Acta Photon Sin*, 2011, 40: 487–504 [张建国, 刘元山. 研制超宽带全光取样示波器设备. *光子学报*, 2011, 40: 487–504]
- 2 Liu Y, Zhang J G, Chen G, et al. Low-timing-jitter, stretched-pulse passively mode-locked fiber laser with tunable repetition rate and high operation stability. *J Opt*, 2010, 12: 095204 (6pp)
- 3 Liu Y S, Zhang J G, Tang D K, et al. Report on prototype of an ultrawide-bandwidth optical sampling oscilloscope. *Chin J Laser*, 2009, 36: 2744 [刘元山, 张建国, 唐定康, 等. 超宽带光学取样示波器的实验样机报道. *中国激光*, 2009, 36: 2744]
- 4 Tang D, Zhang J, Liu Y, et al. Ultrashort optical pulse monitoring using asynchronous optical sampling technique in highly nonlinear fiber. *Chin Opt Lett*, 2010, 8: 630–633
- 5 Liu Y, Zhang J, Tang D, et al. Prototype of an optical sampling oscilloscope with subpicosecond temporal resolution. *Acta Opt Sin*, 2012, 32: 0107002-1–0107002-7 [刘元山, 张建国, 唐定康, 等. 亚皮秒级时间分辨率的光取样示波器实验样机. *光学学报*, 2012, 32: 0107002-1–0107002-7]
- 6 Liu Y, Zhang J G, Zhao W. Design of wideband, high-resolution optical waveform samplers based on a dispersion-flattened highly nonlinear photonic crystal fiber. *J Opt*, 2012, 14: 055201 (9pp)

Development of an engineered prototype for ultra-wideband optical sampling oscilloscope

ZHANG JianGuo* & LIU YuanShan

State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China

*E-mail: zhangjg@opt.ac.cn

Abstract This paper briefly reports our research and development work on ultra-wideband optical sampling oscilloscope equipment. With an innovative design for optical sampling-pulse source and all-optical waveform sampler and a new computer algorithm for data analysis and processing, an engineered prototype of highly reliable, compact, fiber-based optical sampling oscilloscope is successfully developed, and its engineering design method is also grasped.

Keywords optical sampling oscilloscope, optical communication, ultrafast optical signal processing, mode-locked laser, optical fiber

ZHANG JianGuo received the Ph.D. degree in information technology (optical-fiber telecommunications) from University of Parma, Italy, in 1994. He held various positions for research at Chinese University of Hong Kong, Helsinki University of Technology, and teaching at Asian Institute of Technology, London South Bank University, respectively. In 2004, he was

appointed as a Research Professor at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS. He received the Young Scientist Award from URSI/IEEE ISSSE'95, 1996 URSI Young Scientist Award from International Union of Radio Science, and Best Paper Award from CSNDSP2000. He was elected a Fellow of IOP (UK) in 2003.

LIU YuanShan was born in Shanxi in 1975. He received the Ph.D. degree in optics from the Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics (XIOPM) of CAS in 2008. Then he joined the State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics at XIOPM as an Assistant Research Professor and is currently an Associate Research Professor.

He has been involved in research on ultra-short optical pulse generation, radio-over-fiber transmission system, high-stability mode-locked fiber lasers, ultra-fast all-optical sampling techniques, and ultra-wide bandwidth optical measurement instruments. At XIOPM, he is a key team member for developing the prototypes of optical sampling oscilloscope.