



光通信:探索未来 10 年 ——2016 年欧洲光通信会议述评

林金桐,李岩,曾星琳

(北京邮电大学,北京 100876)

摘要: 中国对欧洲光通信会议的影响力逐年提高,对其贡献逐年增加。鉴于这个原因,会议从 2016 年起,决定邀请一位中国同仁参加“国际咨询委员会”,参与“欧洲管理委员会”的工作,进一步加强会议与中国业界的联系。阐述了第 42 届欧洲光通信会议的概要,详细介绍了主题报告、专题研讨、综述指导报告和特邀报告的情况,会议按照光纤、光纤器件和光纤放大器,波导与光电子器件,数字信号处理和多级调制格式,光网络与数据通信的子系统,点对点传输系统,核心城域网和数据中心网,接入网、本地网和家庭网 7 个方向进行探讨。

中图分类号:TN913.7

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016296

1 会议概况

第 42 届欧洲光通信会议 (European Conference on Optical Communication, ECOC) 于 2016 年 9 月 18–23 日在德国杜塞尔多夫举行。ECOC 与美国的光纤通信会议 (Optical Fiber Communication Conference, OFC) 齐名,在光通信领域具有相当高的知名度和影响力。每年, OFC 和 ECOC 分别在春季和秋季举行,使得全球光通信科技的进展,每隔半年就有一次国际检阅的机会。两个会议都附带有关展会,展示光通信材料、器件、系统以及应用的最新产品。因此,这两个会议,是光通信业界交流互联、探索未来发展前景的国际平台。

本次会议共有 1 172 位代表注册参加,连同参加展会的,约 5 000 人。本届会议收到论文稿件共 628 份。其中,来自欧洲的稿件占 43%,来自亚洲地区的占 41%,来自美洲和澳大利亚的分别占 15% 和 1%。按国家和地区统计,中国的投稿数最多,有 132 篇;日本居其次,有 103 篇;美国 80 篇,德国 61 篇,接下来依次是英国、西班牙、法国、意大利等国。

本次欧洲光通信会议,将光通信分为 7 个学术方向。会议的技术程序委员会 (Technical Program Committee,

TPC) 有 100 名委员,也按这 7 个学术方向分组,分别是:

- 光纤、光纤器件和光纤放大器;
- 波导与光电子器件;
- 数字信号处理和多级调制格式;
- 光网络与数据通信的子系统;
- 点对点传输系统;
- 核心城域网和数据中心网;
- 接入网、本地网和家庭网。

TPC 对 628 份稿件进行审核,接受了口头报告 191 篇,接受率为 31%。被会议接受的论文,按照上述 7 个学术方向,共组织了 48 场为时 90 min 的平行分会进行交流。7 个方向上,共安排有 39 篇特邀(invited)报告。每个学术方向上还邀请了一位国际知名研究机构的一线研究人员做了 30 min 的综述指导报告(tutorial)。

TPC 还接受了海报张贴 161 篇。会议安排了两场海报张贴交流,每场时长为 90 min。会议接受截后论文(post-deadline paper)17 篇,分为 3 个会场,每场时长也是 90 min。

2 主题报告

会议开幕式全体会场安排了 4 个主题报告。4 位应邀



做大会主题报告的业内专家,其中,两位来自德国本土,另两位分别来自中国和美国。

第1位是 Bruno Jacobfeuerborn, 德国电信首席技术官。他的报告题目是《光通信:为最佳的用户体验奠定基础》。他指出,5G 移动通信标准的确立,将使实时通信在任何地方任何时间得以实现。几十亿用户与 500 亿物联网传感器的连接,将创造出各式各样的、革命性的应用,从汽车的自动驾驶到超高清的虚拟现实。因此,我们的行业面临着带宽和时延的极度需求。如果我们能够把两件事带给我们的用户,网络的智能和光纤的线路,我们就可以满足这样的需求。

第2位是高戟(Jeffrey 高),华为传输网络产品线首席执行官。他的报告题目是《光传送网到数据中心,网络简化的关键一步》。欧洲光通信会议邀请中国企业做主题技术报告,是中国光通信设备厂商国际地位上升的一个标志。高博士向大会指出,驱使网络架构演进的三大主要因素是:新业务、新技术和降低成本。他向大会介绍了华为对于网络演进和最新技术的理解和战略:一是面对各种技术挑战,二是满足网络演进需求。

第3位是 Erich Auer, 德国 Tesat-Spacecom GmbH & Co.KG 系统工程首席技术官。他的报告题目是《空间中的光通信》。他指出,目前空间通信仍然以受管制频谱的无线电通信为主,但是空间光通信,因为频率不受管制,可以想象成能够无限地扩大容量。他针对空间中的微波通信和光通信做了一个详细的对比,并对空间光通信的未来需求和未来应用做了展望。报告让听众相信,光通信技术在将来的空间通信中可以大显身手。

第4位是 Peter J Winzer, 美国诺基亚贝尔实验室光传输研究中心主任。他的报告题目是《从能力失配到集成均衡:一个十年的十项全能》。他指出,过去的十多年里,网络流量和通信技术的演进以及对于今后十多年的展望,越来越显示出,在流量需求、路由能力、界面速率和系统容量之间的能力有所失配。在下一个 10 年里,我们期望高于 10 Tbit/s 的传送设备以及高达 Pbit/s 的系统和网络。他将实现这个目标的光通信技术比喻作“十项全能”:在时分、波分、偏分、调制和空分等多个技术方面,竭尽全力。

平行均衡地发展波分和空分,是未来网络的方向,别无选择。波分和空分,形成未来系统容量的矩阵。每一个波长、每一个空间通道,都是矩阵的单元。单元的带宽,由高速光电子技术提供;而比特率,则取决于信号速率和调制格式。

波分和空分的集成,技术上将会引入“超级信道”(super-channel)的概念。比如,在网络互联界面,一个超级信道包含有 10 个单元,即 10 Tbit/s 的速率。超级信道的组成,或 10 个波长,或 10 个空分信道,或两者的分配组合。对于这种技术趋势,我们面临的挑战来自:光电阵列的集成;光子器件与电子器件阵列的集成;光电子与数字信号处理之间的整体集成。

报告结尾幽默提问:“新技术的引入,将导致信号传送给网络成本中的占比增加,谁该支付这笔钱?”

3 专题研讨(Workshop)

与往届相同,2016 年的会议在开幕前举办了专题研讨会,研讨会选择了 6 个题目。专题的讨论内容和参与人员介绍如下。

(1)空分复用传输系统中信号处理和信道模型的进展与挑战

该领域目前是光通信热门话题之一,利用光纤的多模式资源合理多维复用的方式来提升容量,目前仍有许多关键技术需要解决,本次研讨会的几个发言主要讨论怎样设计新型光纤和怎样优化数字信号处理算法来解决复用过程中的高模式耦合的问题。来自美国斯坦福大学、美国 NEC 实验室、美国波士顿大学、英国南安普顿大学、德国柏林理工大学、美国贝尔实验室、英国伦敦大学学院以及德国卡尔斯鲁厄技术研究所的多位学者进行了热烈的讨论。

(2)探索弹性光网络的真实价值

软件定义的弹性光网络是指能够动态弹性处理带宽需求的、协同、开放的新一代光网络。实现弹性光网络需要多种技术融合,除了多速率、多格式、频谱可延展光器件以外,还需要可实现程序和动态操控的工具,高频谱效率多级调制,应用于线性和非线性损伤监控和补偿的数字信号处理算法以及新型的动态控制方案。

本次研讨会的发言集中反映了弹性光网络设计,控制和操作技术的最新进展,聚焦新型子系统对相干技术和软定义操作的影响。探索网络设计遇到的挑战。参与讨论的学者主要来自瑞典皇家理工学院、爱立信意大利公司、Coriant 公司、意大利都灵理工大学、希腊 NTUA、英国布里斯托大学、美国诺基亚、美国 Ciena、德国电信以及 Facebook 英国公司等高校和企业。

(3)5G 前传、数据中心互联、城域网中的短距离传输

随着 5G 移动前传,数据中心互联,城域网数据传输容

量的迅速提升,无中继短距传输的容量增长的需求强烈。本专题研讨会发言人来自国际著名企业的科研机构 and 高等院校。他们为下一代无中继短距传输上为大家提供一个深度理解和阐述。一些能为 5G 前传,数据中心互联,城域网所共享的传输方案和光器件技术也在本研讨会进行了讨论。参与讨论的有来自谷歌数据互联中心的周翔博士,来自华为美国网络部的首席科学家刘翔博士,还有香港理工大学的吕超教授,以及来自加拿大 Lumentum 公司、德国 ADVA 公司、法国 Orange 实验室、英国肯特大学以及美国贝尔实验室等高校和企业的专家学者。

(4) 2 μm 波长上的光纤和波导器件,需要吗?

针对 2 μm 红外短波的光纤、波导以及有源、无源器件的最近动态,特别是针对在通信技术和对非通信技术方面的应用,比如光纤型超连续谱光源和光梳、中红外振荡器等,展开该技术发展必要性的研讨。研讨会还讨论了该技术的优势、弱点、成熟度以及所面临的挑战等。参加研讨会的学者主要来自英国 Gooch and Housego 公司、英国 Eblana Photonics 公司、英国南安普顿大学、比利时肯特大学、瑞士洛桑联邦理工大学、法国 Novae 公司以及英国阿斯顿大学等。

(5) 下一代超带宽硅基光子集成环路

本研讨会主要针对硅基光子集成的两个关键问题展开讨论:集成先进材料系统的高效激光光源解决方案,实现超宽带波分复用的硅基光子集成环路。参与讨论的学者主要来自法国三一五族实验室美国加州大学圣塔芭芭拉分校、德国卡塞尔大学、法国 CEA LETI 公司、美国诺基亚贝尔实验室、日本东京大学、法国 CNRS 公司、德国 RWTH Aachen 公司、爱尔兰都柏林城市大学、伊朗 Mellanox Technologies、德国 ADVA 公司以及美国 Acacia Communications 等高校和企业。

(6) 长距离 WDM 系统的延伸:在满负荷 WDM 传输中采用减缓非线性的技术能取得什么效果?

数字相干技术已经用来补偿线性光纤损伤,并且引进了光传输系统中的高级纠错编码中。光纤非线性已经成为了获取光传输系统最终容量的主要障碍。本研讨会主要讨论密集波分复用里面的非线性补偿技术,并且针对长距离密集波分复用系统中的数字和光非线性补偿的不同技术提供对比性的概述。参与讨论的学者主要来自美国诺基亚贝尔实验室、加拿大 Ciena、富士通公司、美国 TE Subcom、德国 ADVA、德国电信、意大利都灵理工大学、英国阿斯顿

大学、意大利帕尔马大学、意大利比萨圣安娜高等学校、加拿大女王大学和英国伦敦大学学院等高校和企业。

4 综述指导报告和特邀报告

会议在 7 个学术方向上,以 90 min 为一个分会议单元,安排 1 篇指导报告或特邀报告(30 min)加 4 篇口头报告(15 min),组织了 48 个分会议。总共有 7 个综述指导报告和 39 个特邀报告。差不多在每一个 90 min 的分会议上,有一个特邀或指导报告。

各个分会议有自己的会议标题,以便于参会者安排时间挑选会场。例如:多芯光纤、模分复用光纤、硅基与集成、复用和交换器件、编码与接收机、非线性补偿的数字信号处理、高阶调制、测量与控制、短距直接检测系统、空分复用传输、数据中心网络、多层 SDN、相干无源光网络、5G 光接入等。工作在光通信每个领域的教授、工程师、学生,应该都可以找到适合自己的、感兴趣的多个分会场。

对应于前面列举的 7 个方向,综合指导报告的报告人和题目分别是:

- Michalis N Zervas, 英国南安普顿大学,“高功率光纤激光器:基础,当前发展和挑战”;
- Shinji Matsuo, 日本电报电话公司,“光子晶体和超结构集成在光互联和数据中心超低功率激光器中的应用”;
- Seb J Savory, 英国剑桥大学,“多级调制格式中的数字信号处理”;
- Koji Yamada, 日本国家先进工业科学技术研究所,“后摩尔时代中的先进硅基光子”;
- Takeshi Hoshida, 日本富士通公司,“通过数字信号处理进行非线性传输损伤补偿”;
- Masahiko Jinno, 日本香川大学,“>100 Gbit/s 时代的弹性光网络地位和优势”;
- Frank Effenberger, 华为(美国),“接入网的路标和工业趋势”。

5 海报张贴

会议共接受了 161 篇海报张贴报告。安排了两个 90 min 海报张贴会场,内容极其丰富。海报张贴的位置安排也是按照 7 个学术方向分类。愿意阅读海报张贴的,愿意与作者讨论的,很容易找到目标。

用海报张贴形式来组织会议交流,更利于和作者进行



仔细的询问和交流,也缩短了整个会议的时间。

6 截后论文

“截后论文”的设定,为会议截止投稿日之后到会议开幕之前这段时间内的最新科技成果,提供了通报和交流的机会。本次大会在会议第2天,即2016年9月20日,TPC会议决定录用并公布了17篇截后报告的名单。这17篇截后论文分在3个分会场同时举行,时长为90 min。

在大容量、长距离光传输方面,录用了一篇由英国南安普顿大学、日本电报电话公司、日本藤仓、德国 Coriant 和丹麦技术大学合作完成的《密集空分复用传输系统中的32芯在线多芯光纤传输及放大》,另一篇,由美国贝尔实验室、美国中佛罗里达大学、韩国电子电信研究院和日本住友电子合作完成的《芯间耦合多芯光纤的长距离传输》,还有日本 KDDI 研究实验室与大阪大学联合完成的《6模19芯光纤搭载双偏-16QAM/64QAM信号实现了665 bit/(s·Hz)和947 bit/(s·Hz)的超高谱效率空分复用/波分复用传输》,以及由法国和德国贝尔实验室联合完成的《基于概率整形PDM-64QAM的65 Tbit/s 跨洋传输》等论文。

在另一个会场,报告了几篇关于硅基光子集成的截后论文,其中有 Infinera 公司研发的《基于磷化铟光子集成环路的全C波段可调谐相干发射机和接收机》,美国贝尔实验室和德国 VERTILAS 公司联合完成的《基于注入锁模 VCSEL 相位阵列的无啁啾调制器》,还有美国加州大学伯克利分校与韩国科学技术院联合完成的《50×50 偏振无关硅基光子 MEMS 交换器:设计与实验》等论文。

第3个会场,是有关数据中心与光互联的内容。美国贝尔实验室实现了《基于动态 VCSEL 数据中心的波长选择开关》,由比利时根特大学、瑞典皇家理工学院、瑞典 Acreo 公司和瑞典西斯塔光子研究中心联合完成的《光互联中实时100 Gbit/s 三级双二进制传输的首次演示》等,以及来自德国电信公司、西班牙电信公司和美国贝尔实验室,有关无源光网络、软件定义网络方面的几篇论文,做了报告。

3个会场,均人满为患。与往年一样,截后论文受到参会者的高度关注。

7 观点汇集

空分技术:实现了单纤32芯的传输实验、单芯6模的传输实验。

最现实的空分是多纤光缆,最令人刺激的是多模传输,而多芯光纤介乎两者之间。

2024年,单波长、单信道将能传送1 Tbit/s,频谱效率将达到10 bit/(s·Hz)。

简易而且低成本的四进制脉冲幅度调制(PAM4)收发端机已经达到商用水平。

骨干网上,100 Gbit/s 正交相移键控(QPSK)和400 Gbit/s 双载波16进制正交幅度调制(16QAM)的技术日趋成熟。

相干无源接入网(coherent PON),实验水平:10 Gbit/s,200个用户,60 km。2025年有望商业实现。

光通信技术在将来的空间卫星通信中将占据越来越大的比例。

SDN 弹性光网络的研究热点是优化资源调度问题。

对于全光信号处理的热情将会转移到电域的数字信号处理上,这样解决光通信的问题会更加简单。

在“非线性 and 量子技术”标题下,接受了一篇量子密钥分发技术的论文。

数据中心网络的研究热点是解决容量、扩展性等瓶颈问题。

硅—有机材料混合调制器(SOH),已经可以产生100 Gbit/s 的二进制启闭键控(on-off keying,OOK)信号以及252 Gbit/s 的16进制正交幅度调制(16QAM)信号。

8 中国参会情况

本次会议,中国投稿132篇。被接受为口头报告的15篇,海报张贴24篇。投稿数、录用率以及注册参会人员数,与以往相比,都有所提高。

来自上海交通大学、复旦大学、华为技术有限公司、北京邮电大学、长飞光纤光缆制造公司、富士通中国研发中心、中国科学技术大学、中国科学院计算技术研究所、阿朗贝尔中国实验室等高校、研究所、企业的15篇论文在会上作了口头报告。

华为应大会邀请,做开幕式全会的主题报告,反映了会议对中国科技和产业水平的认可和尊重。

很明显,中国对会议的影响力逐年提高,对会议的贡献逐年增加。鉴于这个原因,会议从2016年起,决定邀请一位中国同仁参加“国际咨询委员会”,参与“欧洲管理委员会”的工作,进一步加强会议与中国业界的联系。

笔者(林金桐)很荣幸被邀请担此责任。笔者30年前在英国工作时,开始参加和关注欧洲光通信会议,20年前



参加 ECOC'16 的部分华裔学者合影

曾应邀为大会作过主题报告。近年来,所在研究组的教授和学生也常有参与会议。笔者见证了中国光通信科技和产业 30 年来长足的进步,愿意为加强中国光通信业界与欧洲光通信会议的更紧密的联系效力。

纵观本次会议的统计数据,中国稿件的录用率仍然偏低,综合指导报告、特邀报告名单里空白,截后论文空白。在本届 TPC 中的中国学者人数仅 4 位,偏少。前往德国参会的中国 TPC 委员,就更少。

不少来自欧美日的华裔学者和留学生,参加了会议,报告了他们的科研成果。他们中间,有的已经是业内知名人士,分别应邀参加了专题研讨或报告了截后论文。

9 展览会

本届欧洲光通信会议举办地点选在杜塞尔多夫的议会中心。楼上会议,楼下展厅。在会议当中,即 2016 年 9 月 19-21 日,举办了 3 天的展会。参展厂商来自 27 个国家,参展公司总共 314 家。一些中国的大中型企业,如华为、亨通、中天、通鼎以及众多中小企业参加了展会。据统计,中国的参展商家占总数的 40%,充分展现了中国光通信产业的实力。

10 2017 年的欧洲光通信会议

9 月 23 日下午,本届会议闭幕之后,管委会(EMC)和国际咨询委员会(IAC)举行会议,总结本届会议,讨论下届会议。

第 43 届欧洲光通信会议将于 2017 年 9 月 17-21 日在瑞典哥德堡举行。技术程序委员会(TPC)主席将由丹麦科技大学的里夫·奥克森劳(Leif Katsuo Oxenløwe)教授和瑞典查尔姆斯理工大学的皮特·安德森(Peter Andrekson)

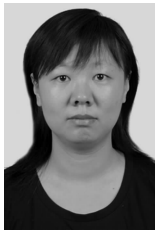
教授共同担任。

会议将在原有 7 个学术方向的基础上,增设一个新的方向:数据通信与计算机通信。

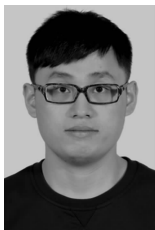
[作者简介]



林金桐(1946-),男,博士,北京邮电大学教授,《电信科学》杂志顾问,ECOC 国际咨询委员会委员。从事光纤通信研究 38 年,迄今已发表学术论文 600 多篇,拥有专利 24 项。14 次出任国际学术会议主席。留英 8 年期间,参与光纤放大器/激光器早期发明研究,这项发明被公认为“通信技术的一场革命”。北京邮电大学第 6 任校长,中国通信学会第 5 届、第 6 届副理事长;北京通信信息协会第 3 届、第 4 届理事长。获得的荣誉称号包括:英国 IET 学会会士、南安普敦大学荣誉科学博士、伦敦大学玛丽女王学院荣誉院士。



李岩(1980-),女,北京邮电大学副教授。



曾星琳(1991-),男,北京邮电大学/美国波士顿大学联合培养博士生。