



## News &amp; Highlights

## 光纤容量和传输距离打破纪录

Mitch Leslie

Senior Technology Writer

2020年8月，英国伦敦大学学院（UCL）的工程师报道了一项通过单根光纤传输数据的新纪录，即传输速度达到了每秒178 Tb，比原纪录高20% [1]。2020年6月，位于加利福尼亚州森尼韦尔市的Infinera和位于阿肯色州小石城的Windstream这两家美国电信公司创造了一项新的纪录。两家公司首次合作开发和维护了一条从美国加利福尼亚州圣地亚哥到亚利桑那州凤凰城的长距离光纤线路，该线路长达730 km，传输速率达到了每秒800 Gb [2]。

这些成就展示了在光纤网络中满足新容量需求的新方法。美国加利福尼亚州洛杉矶市的南加利福尼亚大学的电气工程学教授Alan Willner表示：“这些方法之所以更加重要，是因为它们不需要重新铺设电缆，即便使用现有光纤，也可以通过在终端进行更新而显著提升系统的容量。”

互联网流量的爆炸式增长推动了更多的光纤带宽需求。美国加利福尼亚州圣何塞的网络巨头思科（Cisco）公司估计，到2021年，互联网流量将达到2016年的3倍[3]。然而，该估计值并未考虑2019年新冠病毒肺炎（COVID-19）疫情的影响。新冠病毒肺炎的流行迫使更多人在家工作，并增强了人们对网上娱乐、购物和其他曾经在线下进行的活动的依赖性[4]。此外，在美国和其他国家推出的第5代（5G）蜂窝网络将进一步增加人们对光纤容量的需求[5]。加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校的电气和计算机工程学教授Dan Blumenthal说：“以前，人们认为并不需要兆兆位级的传输速率，但现在我

们需要。”

Blumenthal认为，增加光纤的容量可能会带来另一个好处。光纤网络会消耗大量功率，因此，他指出：“能源效率至关重要，而且光纤带宽越大越好。”

新型光纤有能力承受一定的负载。在过去的40年里，各种创新方法已使光纤的容量增加了1000万倍以上[6]，并且工程师正在进行更多的尝试以获得更大的容量。光是通过光纤的玻璃纤芯进行传输的，所谓的多芯光纤本质上是由多根玻璃纤芯组成的[6]，多芯光纤是提高光纤容量的一种途径。

多芯设计在实验室中创造了传输纪录。2020年，日本国立通信技术研究所（National Institute for Communications Technology）的研究人员利用三芯光纤实现了每秒172 Tb的传输速率[7]，而UCL团队的纪录是单芯光纤的传输速率。多芯光纤的首次实地测试于2019年在意大利开展[8]。研究人员正在研发其他有前景的传输途径[9]，其中包括能够使光传播的速度提高30倍的中空纤维[10]。

但是，新型光纤面临着一个巨大障碍，即安装成本（图1）。铺设光纤线路的成本可能高达50万USD·km<sup>-1</sup> [1]，这迫使人们寻找更经济的替代方案。美国南卡罗来纳州克莱姆森大学材料科学与工程学教授John Ballato说：“我们必须铺设新型光纤，但是目前地下已经有大量的光纤了。现在的问题是，我们可以在现有的光纤网络的基础上铺设新型光纤，以传输更多的数据吗？”

许多已铺设的光纤的传输速率为每秒100 Gb。



图1. 工人在澳大利亚新南威尔士州沃加沃加铺设新型光纤电缆。铺设这种光纤电缆的高昂成本促使人们开始研究如何扩大现有光纤所能承载的信息量。图片来源: Bidgee, Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0 Au)。

Ballato教授说:“为了扩增其数据传输能力,我们目前正在研究光的属性,并利用其属性在最小失真的情况下将更多的信息扩增至光纤中。”一种名为波分复用的方法通过增加光纤传播中光的波长值来增加信息传输通道[6]。

UCL团队通过开发大量的空闲波长,使得波分复用方法进一步发展。尽管一些电缆承载了部分L波段(位于1568 nm和1605 nm之间)[1],但用于长距离传输的光纤电缆线路通常仅承载C波段(其跨度为1530~1565 nm)的光。UCL团队在较少使用的S波段(位于1484和1520 nm之间)中增加了波长。通过合理布置三台激光器和组合放大器,他们达到了16.8 THz的光谱范围。这是单芯光纤所能达到的最大光谱范围,该光谱范围是最佳商用光纤网络的两倍。通过增加带宽,研究人员能够在额定容量为每秒100 Gb的标准光纤中以每秒178 Tb的速率将数据发送至40 km处[11]。Willner教授说:“这是使用更宽波长范围电缆的良好证明。”

然而,传输更长的波长通常意味着需要增加激光器和其他设备,这些设备十分昂贵并且会消耗大量功率。2020年,另一个团队证明了他们可以将许多电子器件放置到一个微芯片中[12]。澳大利亚维多利亚州墨尔本莫纳什大学的电气与计算机系统工程专业的讲师Bill Corcoran及其同事研发了一种微梳,该设备能将激光器与光学谐振器配对,而光学谐振器能够将激光器所发射的光分为80个波长。研究人员称,他们已在墨尔本地区的莫纳什大学和皇家墨尔本理工大学之间连接了一条长约77 km的光纤[13],其传输速率可达每秒40 Tb。Corcoran称他们的方法能够减少设备数量。

Infinera公司和Windstream公司合作研究了另一个传输问题。电信公司正在推出传输速度为每秒400 Gb甚至800 Gb的网络[14]。但由于光纤性能随着传输距离的增长而下降,因此一条传输速率为每秒400 Gb的线路通常只能在大约100 km内维持该速率[15]。Infinera-Windstream团队研发的传输线路能够在700 km范围内保持每秒800 Gb的传输速率,原因是该线路使用了Nyquist子载波,该子载波是通过将来自每个激光器的光束切割成多个数据流而产生的[2]。该方法的一个好处是减少了光在传输时的光纤色散[16]。

Ballato教授认为,诸如UCL团队之类的证明很重要,因为他们阐述了使用更宽波长范围的可能性,但Infinera-Windstream团队的实验验证了现在所能够达到的性能。他评价道:“Infinera-Windstream团队验证了通过实际网络能够达到每秒800 Gb的传输速率,这令人印象深刻。”

专家一致认为,光纤容量的大幅增加即将成为现实。Ballato教授说:“UCL团队的成果是未来趋势的一个信号。这可能要花上几年的时间,但商业需求持续存在。”但Willner教授则认为:“创新不能停止,因为即使光纤容量增加了一倍,它也只够维持几年的时间。”

## References

- [1] Hecht J. 100 million zoom sessions over a single optical fiber [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2020 Aug 27 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/single-optical-fibers-100-millionzoom>.
- [2] Koziol M. Infinera and Windstream beam 800 gigabits per second though a single optical fiber [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2020 Jul 14 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/infinera-and-windstream-beam-800-gigabits-per-second-through-a-single-optical-fiber>.
- [3] Global—2021 forecast highlights. Report. San Jose: Cisco; 2017 Jun.
- [4] Kang C, Alba D, Satariano A. Surging traffic is slowing down our internet [Internet]. New York: New York Times; 2020 Mar 26 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://www.nytimes.com/2020/03/26/business/coronavirus-internet-traffic-speed.html>.
- [5] Hecht J. Future photonics: 5G—optics will be indispensable for 5G networks [Internet]. Nashua: Laser Focus World; 2020 Feb 18 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://www.laserfocusworld.com/fiber-optics/article/14074687/optics-will-be-indispensable-for-5g-networks>.
- [6] Hecht J. Is Keck's Law coming to an end? [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2016 Jan 26 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/is-kecks-law-coming-to-an-end>.
- [7] Hecht J. Optical labs set terabit transmission records [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2020 Apr 14 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/computing/networks/optical-labs-set-terabit-transmission-records>.
- [8] Hayashi T, Nagashima T, Nakanishi T, Morishima T, Kawawada R, Mecozzi A, et al. Field-deployed multi-core fiber testbed. In: Proceedings of 2019 24th OptoElectronics and Communications Conference (OECC) and 2019 International Conference on Photonics in Switching and Computing (PSC); 2019 Jul 7–11; Fukuoka, Japan; 2019.
- [9] Jacoby M. As telecom demands grow, optical fibers will need to level up [Internet]. Washington, DC: Chemical & Engineering News; 2020 Mar 16 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://cen.acs.org/materials/photonics/telecom-demands-grow-optical-fibers/98/i10>.
- [10] Hecht J. Hollow-core optical fibers may have a bright future [Internet].

- Nashua: Laser Focus World; 2020 Apr 14 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://www.laserfocusworld.com/fiber-optics/article/14170019/hollowcore-optical-fibers-may-have-a-bright-future>.
- [11] Galdino L, Edwards A, Yi W, Sillekens E, Wakayama Y, Gerard T, et al. Optical fibre capacity optimisation via continuous bandwidth amplification and geometric shaping. *IEEE Photonics Technol Lett* 2020;32(17):1021–4.
- [12] Corcoran B, Tan M, Xu X, Boes A, Wu J, Nguyen TG, et al. Ultra-dense optical data transmission over standard fibre with a single chip source. *Nat Commun* 2020;11:2568.
- [13] Chanthadavong A. Monash, Swinburne, and RMIT universities use optical chip to achieve 44 Tbps data speed [Internet]. San Francisco: ZDNet; 2020 May 25 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://www.zdnet.com/article/monash-swinburne-and-rmit-universities-achieve-44tbps-data-speed-using-single-optical-chip/>.
- [14] Hecht J. Faster fiber links for data centers [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2019 Mar 4 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/faster-fiber-links-for-data-centers>.
- [15] Hecht J. Fiber-optic communications: fiber bandwidth pushes closer to nonlinear Shannon limit [Internet]. Nashua: Laser Focus World; 2019 Apr 1 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://www.laserfocusworld.com/fiber-optics/article/16556311/fiber-optic-communications-fiber-bandwidth-pushes-closer-to-nonlinear-shannon-limit>.
- [16] Mann T. Infinera, Windstream claim 800G milestone [Internet]. Denver: SDx Central; 2020 Jun 19 [cited 2020 Dec 1]. Available from: <https://www.sdxcentral.com/articles/news/infinera-windstream-claim-800g-milestone/2020/06/>.