

## 飞上高空让互联网覆盖全球

Mohamed-Slim Alouini<sup>1\*</sup> 和 Mariette DiChristina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>阿卜杜拉国王科技大学 (KAUST) 联合国教科文组织"架通未通之域"教席 (沙特阿拉伯, 麦加省, 图沃)

<sup>2</sup>波士顿大学传播学院 (美国, 马萨诸塞州, 波士顿)

### 少年审稿人



LONDON

年龄: 10

### 数字鸿沟 (Internet Divide)

联网群体与未联网群体之间的差距, 通常由贫困、位置偏远或技术匮乏导致。

### 基础设施 (Infrastructure)

支撑社区或国家运行的基础系统, 如道路、桥梁或通信基站。

高空平台站 (HAPS) 是在距地表约 20 公里处的高空飞行的系统, 可提供互联网服务并监测环境。这些太阳能供电系统能在空中持续运行数月, 为偏远地区带来高速稳定的网络连接, 并在飓风等自然灾害期间提供关键通信支持。目前, HAPS 已进入测试阶段, 应用于社区联网、山火追踪和空气质量检测。尽管这项技术有望消除数字鸿沟、实现全球网络覆盖, 但仍面临诸多挑战: 现有航空法规需要更新, 对 HAPS 作出明确规定; 系统本身也需要强化, 以适应平流层的极端环境; 同时必须降低成本, 以便互联网欠缺地区能够用上。一旦解决了这些问题, HAPS 将彻底改变人类的互联方式。

## 世界上还有很多人没能联网

如今, 接入互联网差不多和获取清洁水源及电力同样重要。网络帮助人们获取教育、医疗和就业信息, 维持社交连接。然而, 全球还有三分之一的人口仍然无法使用互联网, 这种被称为"数字鸿沟"的现象在山区、沙漠和丛林等偏远地区尤为严重, 因为这些区域难以建设和维护通信基站等基础设施。

### 高空平台站 (High-Altitude Platform Stations)

距地表 20 公里的高空悬浮平台 (高于民航客机), 可提供互联网或环境监测服务, 在空中持续运行数月。

### 平流层 (Stratosphere)

距地表约 10 公里的大气层, 民航客机在其下方飞行, 高空平台站则其上方运行。

### 网络延迟 (Latency)

因信号传输距离或网速缓慢导致的通信延时, 表现为游戏卡顿或通话短暂中断。

缺乏网络不仅意味着技术隔离, 更会导致发展机遇的流失。在高度互联的现代社会中, 无法接触网络的人群往往会陷入贫穷与不平等困境。全球新冠疫情期间, 可靠的网络连接显得愈发重要: 未联网地区的学生上不了网课, 许多人无法获取医疗信息或寻找居家办公工作。

如果我们能向最偏远的角落提供稳定网络, 彻底消除数字鸿沟, 这个世界将会变得怎么样?

## 新兴技术: 高空平台站

**高空平台站** (HAPS) 是在距地表约 20 公里的**平流层**中运行的特殊系统, 其飞行高度远高于民航客机。这些系统可采用飞艇 (就像超大号气球, 内部充满轻于空气的气体) 或带翼飞机造型, 便于在空中滑翔。这种高空优势使平台站能够为广阔区域提供网络覆盖, 有效克服崎岖山脉、茂密丛林或无垠沙漠等难以建设通信基站的复杂地形 [1, 2]。

相比同样从空中提供通信服务的卫星, HAPS 具有显著优势: 卫星运行于 3.5 万公里以上的高空, 这会导致通信产生时延, 即**网络延迟**现象, 如视频通话中的卡顿。而 HAPS 距地表仅有 20 公里, 延迟大幅降低, 可提供更快速稳定的网络服务。此外, 其建设成本更低, 升级维护也更便捷。

HAPS 用起来也很灵活, 依靠太阳能供电, 可持续飞行数月而无需补充燃料。HAPS 能快速部署于应急场景, 例如在自然灾害后恢复通信, 或为大型体育赛事、音乐节和国际会议等临时活动增强网络覆盖 [3]。随着材料科学、太阳能技术和推进系统 (控制飞行器移动与定位的机制) 的进步, HAPS 变得越来越高效实用。

## 技术助力全球网络覆盖

目前, HAPS 正在接受各项测试, 以检验网络连接优化和环境监测能力 (图 1)。这些测试正不断推动技术完善, 充分挖掘其应用潜力。

以空客公司的“西风” (Zephyr) 太阳能无人驾驶飞机为例, 这款飞行器能在平流层持续工作数月, 已完成多次成功试飞, 证明了其高空互联网传输与环境监测能力。在一项测试中, 它为特定区域持续提供网络覆盖, 有望在几乎不可能铺设电缆和建设通信基站的偏远地区 (如深山村落或远洋孤岛) 实现网络连接。悬浮于高空的 HAPS 可为这些与世隔绝的社区提供高速网络, 让儿童接受在线教育, 家庭获得远程医疗, 小微企业触达全球市场。

另一典型案例是 Sceye 公司与美国国家航空航天局 (NASA) 及美国地质调查局合作研发的 HAPS 平台。该平台已进行山火和风暴监测测试, 从临近空间对这些灾害进行观测, 可向应急响应团队提供实时数据, 帮

图 1

HAPS 能够在众多场景中增强全球网络连接:(A)为深山孤岛等难以铺设光缆或建设基站的偏远地区提供网络;(B)在恶劣天气、山火等紧急情况下向救援人员提供实时数据,并在地震、飓风等灾害导致通信中断时快速恢复连接;(C)在大型活动期间缓解传统基础设施的网络拥堵压力,保障大量人群的联网需求。

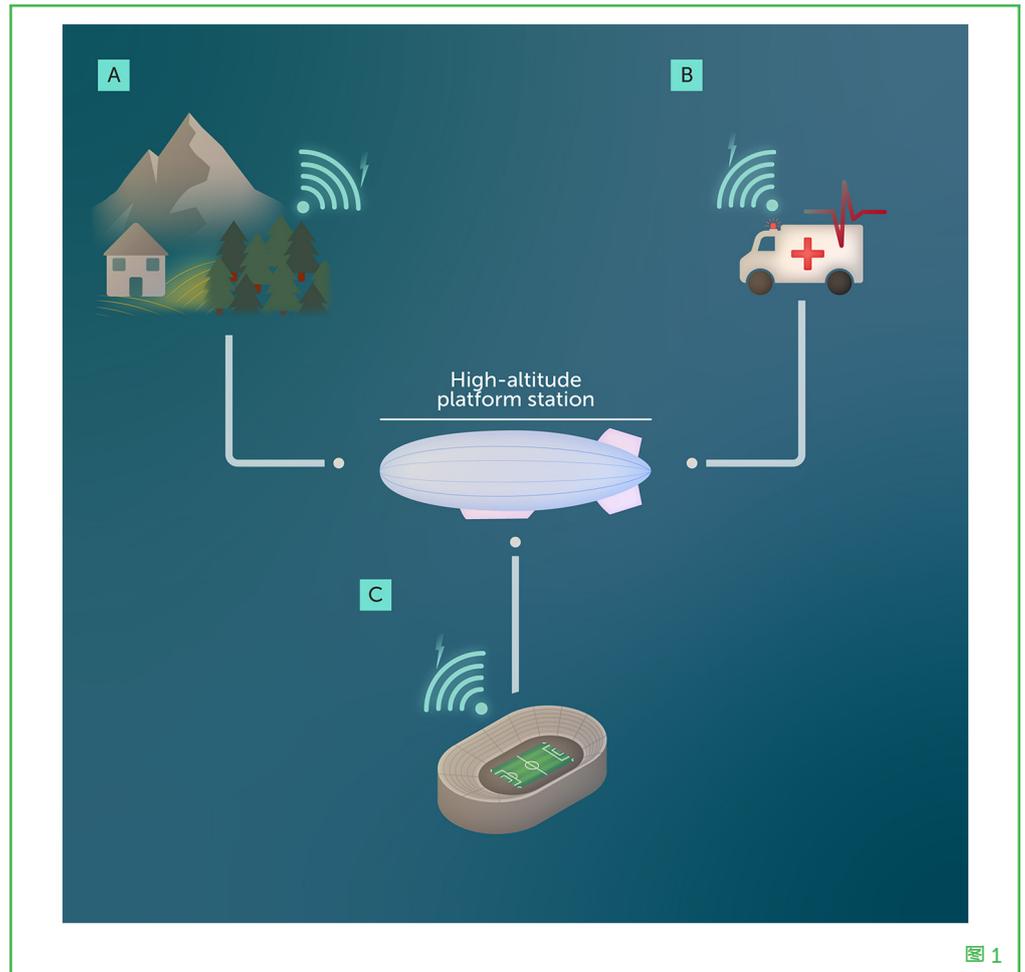


图 1

助预测火势蔓延方向或追踪危险天气。HAPS 还能从平流层监测空气质量、森林砍伐和野生动物迁徙,为应对气候变化和生物多样性丧失等环境挑战提供关键数据。例如, HAPS 可大范围追踪污染水平,协助政府制定空气质量改善战略。

HAPS 在飓风、地震、洪水等灾后通信恢复领域同样展现出巨大价值。例如,飓风摧毁沿海地区通信网络后,可迅速部署 HAPS 提供互联网与电话服务,帮助受灾人群联系救援机构与亲友,甚至能引导医疗物资配送无人机或共享实时气象信息。这些初步测试证明 HAPS 有望彻底改变灾害管理方式。

## 重大挑战与更大机遇

尽管 HAPS 潜力巨大,但仍面临多重挑战。首要问题是现有航空法规基于传统载人飞机制定,其飞行时长通常以小时计算,且侧重乘客安全方面。而 HAPS 作为无人驾驶设备可在空中持续工作数月,需要建立新规范确保其运行安全,避免与其他航空器或卫星发生冲突。国际民用航空组织等机构正在积极制定相关新规 [4]。

耐久性是一大挑战。HAPS 必须适应平流层的恶劣环境: 超低温和稀薄空气。为确保系统能在这种环境下长期稳定工作, 还需要更深入的研究。同时, HAPS 需要持续供能以维持定位和设备运转, 目前的测试方案包括轻量化太阳能板和先进电池。

最后是成本问题。虽然 HAPS 的成本低于卫星, 但其建造与运行费用依然高昂。要真正消除数字鸿沟并为互联网欠缺地区提供网络, 必须大幅降低成本以实现大规模部署。

只要研究人员和工程师能攻克这些难题, HAPS 将彻底改变全球互联模式, 在灾害期间提供关键支持, 帮助人类进一步探索地球。通过合理的解决方案, HAPS 有望成为全球通信基础设施的重要组成部分, 在这个日益互联的世界中确保"一个都不能少"。

## 致谢

由 SJD Consulting, LLC. 科学撰稿人/编辑、毕业于美国马萨诸塞大学陈氏医学院晨兴生物医学研究生院的 Susan Debad 博士参与撰写和编辑。图表制作方为 Somersault18:24。

## AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本 (alt text) 均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性, 包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题, 请随时联系我们。

## 原文

Alouini, M.-S. 和 DiChristina, M. 2024. "High altitude platform stations. Bridging the internet divide from the stratosphere", 2024 年十大新兴技术报告, 世界经济论坛, 链接: <https://www.weforum.org/publications/top-10-emerging-technologies-2024/>

## 参考文献

1. Belmekki, B. E. Y., Aljohani, A. J., Althubaity, S. A., Harthi, A. A., Bean, K., Aijaz, A., Alouini, M.-S. 2024. Cellular network from the sky: toward people-centered smart communities. *IEEE Open J. Commun. Soc.* 5:1916–36. doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3378297
2. Alouini, M. S., and DiChristina, M. 2024. A third of the world's population lacks internet connectivity—airborne communication stations could change that. *The Conversation*. Available online at: <https://theconversation.com/a-third-of-the-worlds-population-lacks-internet-connectivity-airborne->

- communications-stations-could-change-that-234986 (accessed May 14, 2025).
3. GSMA. 2021. *High Altitude Platform Systems. Towers in the Skies*. Available online at: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/wp-content/uploads/2021/06/GSMA-HAPS-Towers-in-the-skies-Whitepaper-2021.pdf> (accessed May 14, 2025).
  4. International Civil Aviation Organization. 2022. *Agenda Item 31: Aviation Safety and Air Navigation Standardization*. Higher Airspace Operations. Available online at: [https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp\\_085\\_en.pdf](https://www.icao.int/Meetings/a41/Documents/WP/wp_085_en.pdf) (accessed May 14, 2025).

线上发布: 2025 年 9 月 30 日

编辑: [Idan Segev](#)

科学导师: [Adam Amos-Binks](#)

引用: Alouini M 和 DiChristina M (2025) 飞上高空让互联网覆盖全球. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2025.1572268-zh

英文原文: Alouini M and DiChristina M (2025) Flying High to Bring the Internet Everywhere. *Front. Young Minds* 13:1572268. doi: 10.3389/frym.2025.1572268

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2025 © 2025 Alouini 和 DiChristina. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人



LANDON, 年龄: 10

10 岁的 Landon 是达芬奇巨龙北卡罗来纳州科学奥林匹克竞赛获奖团队成员, 曾两次参与 Kyran Anderson 科学院项目。他拥有双重国籍, 热爱音乐演奏、读书、游泳和攀岩。

## 作者



MOHAMED-SLIM ALOUINI

Mohamed-Slim Alouini 出生于突尼斯首都突尼斯市, 1998 年获得加州理工学院 (Caltech) 博士学位, 曾先后任教于明尼苏达大学和得克萨斯农工大学卡塔尔分校, 2009 年成为阿卜杜拉国王科技大学 (KAUST) 创始教员, 现任电子与计算机工程系阿尔-花拉子密杰出教授, 并担任联合国教科文组织“架通未通之域”教席教授。作为 IEEE 和 OPTICA 会员, 他的研究领域涵盖无线及卫星通信等众多课题。目前他专注于解决服务欠缺地区所面临的信息通信技术 (ICT) 发展挑战, 致力于通过攻克农村、低收入、灾害频发及偏远地区 ICT 资源分布不均、接入困难和利用率低等问题, 助力消除全球数字鸿沟。\*[slim.alouini@kaust.edu.sa](mailto:slim.alouini@kaust.edu.sa)



### MARIETTE DICHRISTINA

Mariette DiChristina 是一位热心科普事业的记者与教授, 现任波士顿大学传播学院院长, 主要教授科技主题的通俗化写作。此前她曾担任世界顶级科普杂志《科学美国人》总编辑。凭借在展现科学魅力、推动科学普及方面的杰出贡献, 她被公认为科学传播领域的领军人物。

中文翻译由下列单位提供  
Chinese version provided by

