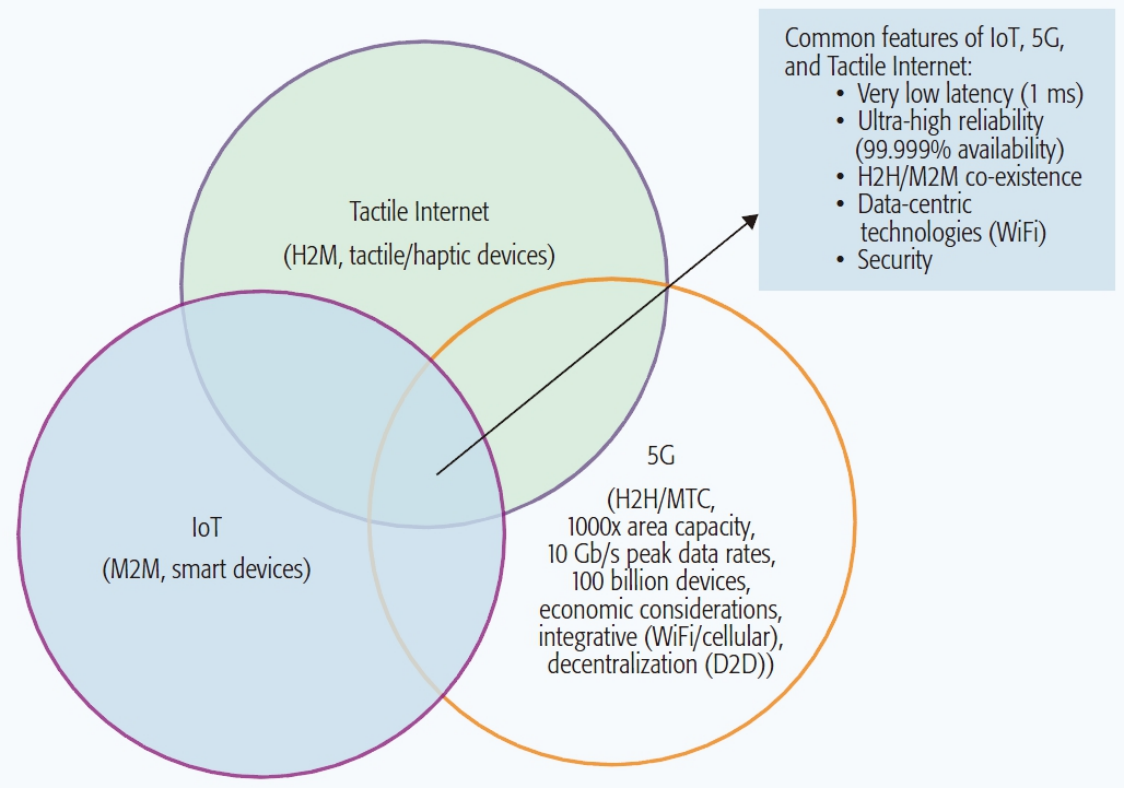
谁在解决光速限制下的 150km 时延问题？

临菲信息技术港

一、问题描述

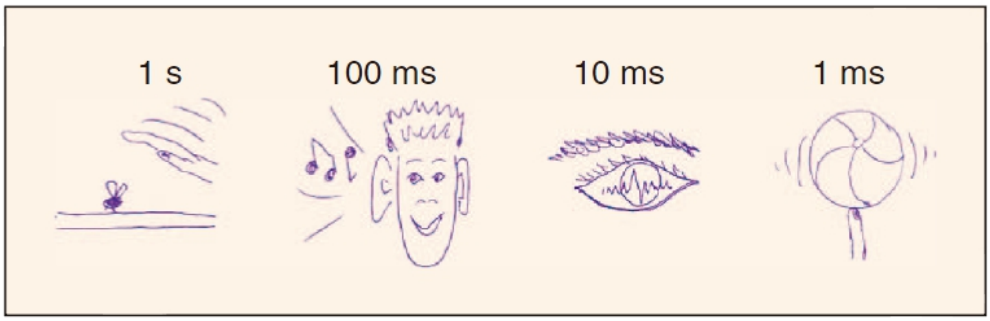
低时延高可靠是信息通信新应用场景的基本需求。

触觉互联网[2]应用，如远程手术，对低时延高可靠的要求更高。



触觉互联网与 IoT 和 5G[3]

触觉互联网应用的延迟要求可能从<10 ms 到数十毫秒不等，但其目标是端到端往返延迟不超过 1 ms。

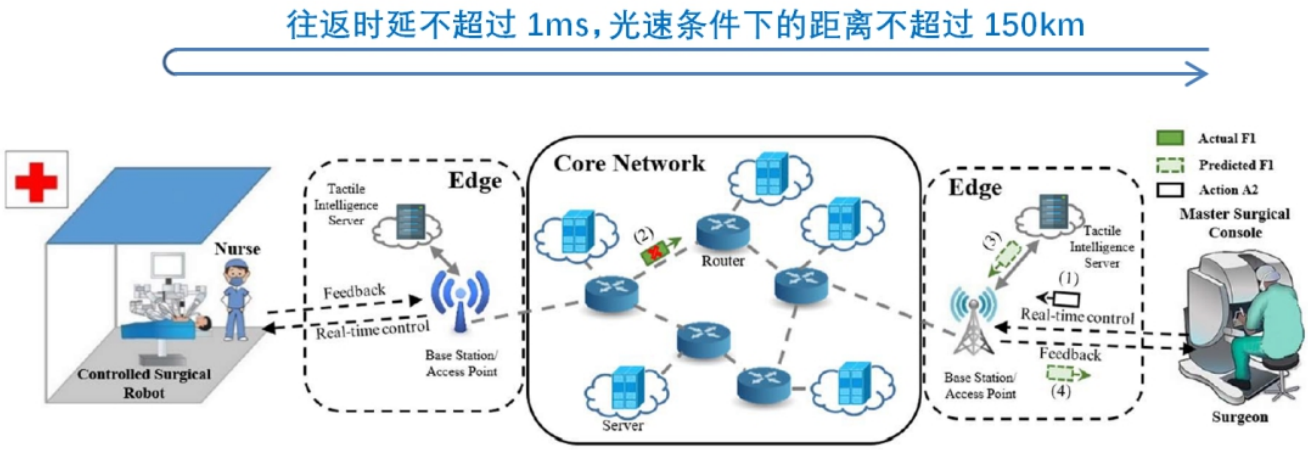


人体反应和作用时间[2]

然而，即使在光速下（例如在光纤接入网中），1ms 的往返传播延迟就意味着人类操作员与远端操作系统的距离不能超过 150km！这还是忽略了所有的信号和信息处理所需的时间开销。

于是，由于光速（300 km/ms）的限制，触觉应用的端点之间的距离上限为 150 km，以确保满足触觉互联网的 1 ms 往返延迟要求。

这就是本文所称“150km 时延”问题。



远程机器人手术[10]

二、谁在解决问题？

德国德累斯顿科技大学的 M. Simsek 及合作者们[4]认为，人工智能是解决光速限制下的时延问题的突出解决方案。

荷兰代尔夫特理工大学（Delft University of Technology）Berg 等人也认为，为了消除 150km 的限制，解决 1ms 时延的唯一方法是使用基于人工智能的预测[5]。

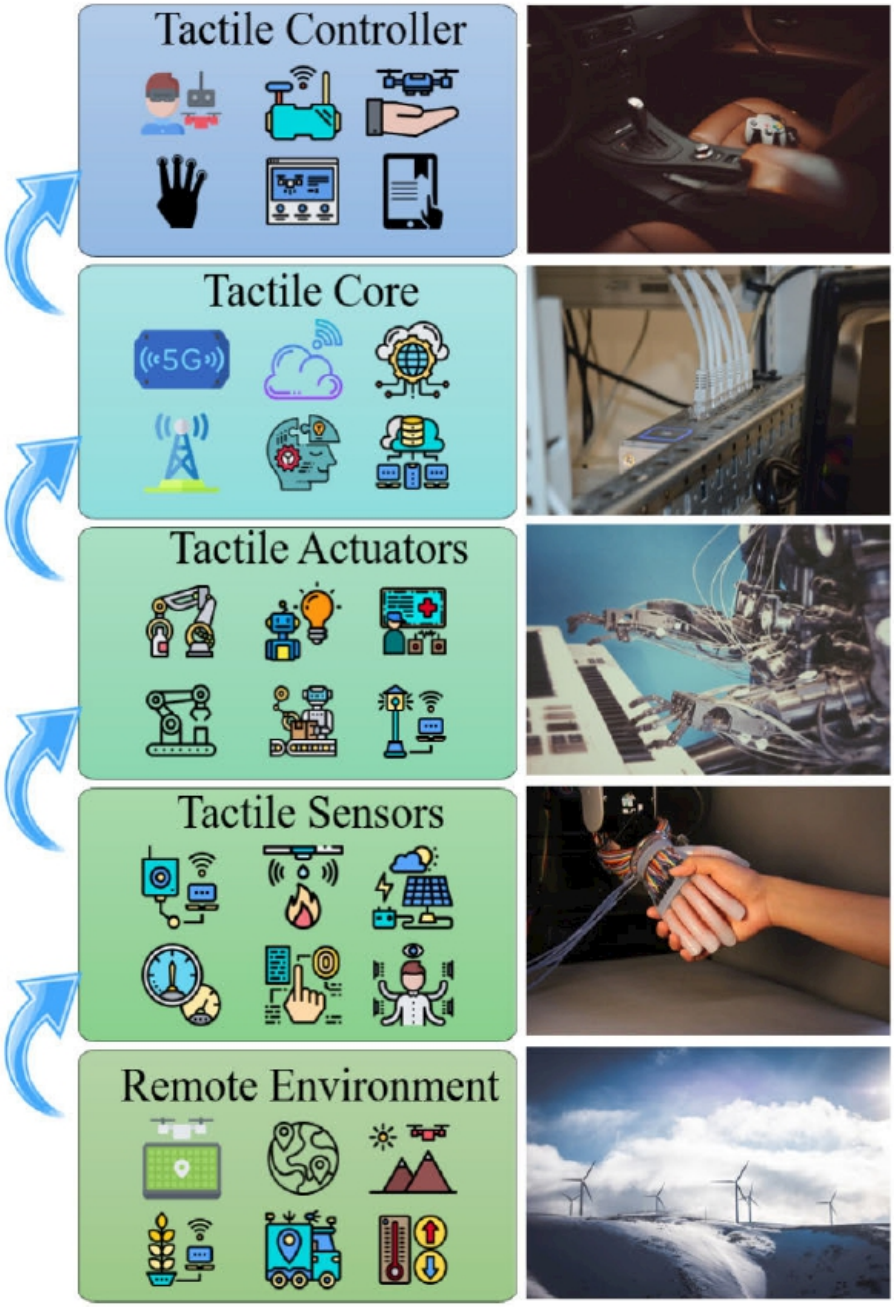
一种远程操作示意图，显示主设备和从设备在网络上的通信[9]

人工智能在触觉互联网中的应用研究已经开始受到关注：

加拿大 INRS 的 Maier 等人[6,7]使用多层感知人工神经网络（MLP-ANN）对遥操作系统反馈路径中的延迟和丢失样本进行预测。结果表明，所提出的边缘样本预测器能够在 1 ms 的截止时间内进行准确的预测。

加拿大康戈迪亚大学（Concordia University）的 Boabang 及其合作者[8]，用一组专家力/力矩曲线训练隐马尔可夫模型(HMM)，然后在机器人远程手术应用中使用高斯混合回归进行失去触觉反馈信息时的力/扭矩曲线预测。结果表明，预测时间保持在 1 ms 以内，预测的均方根误差不超过 7.5 × 10^−3。

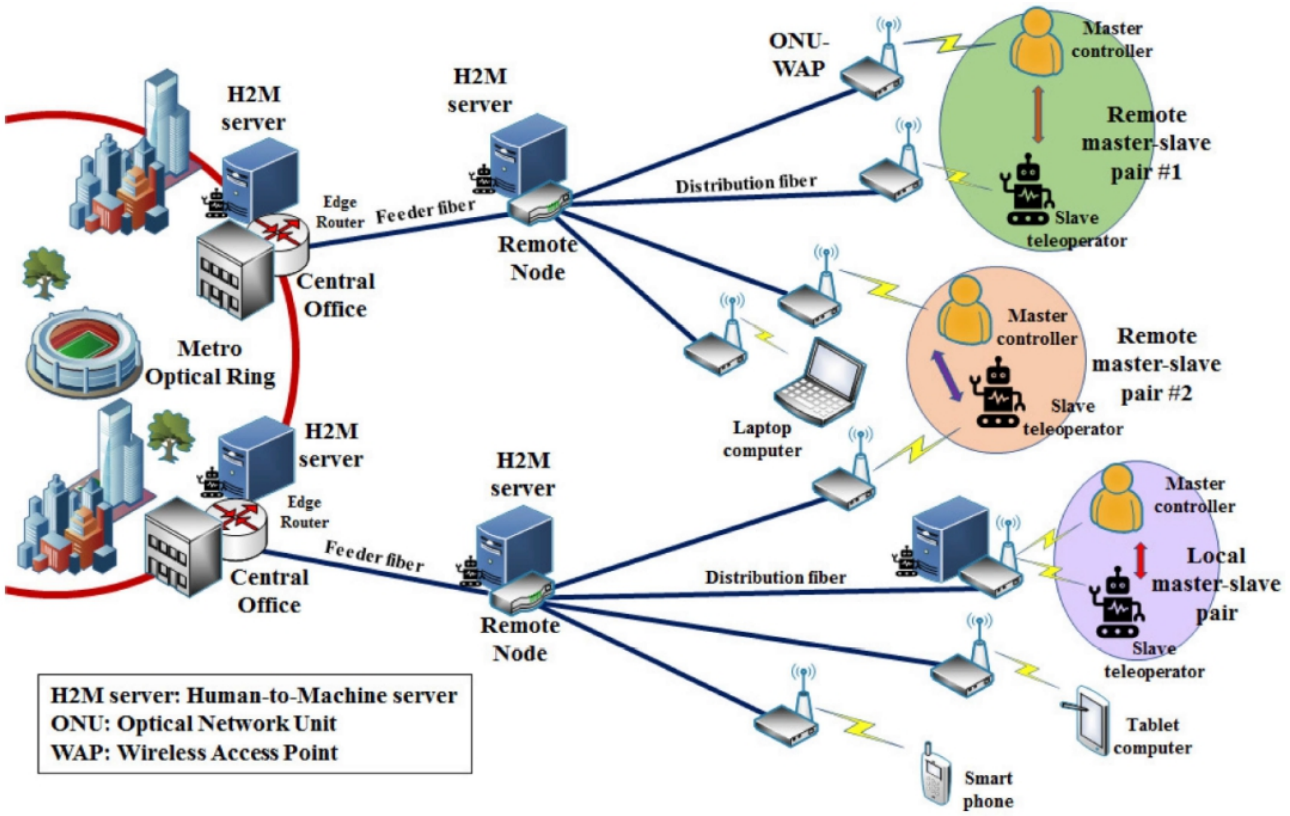
澳大利亚墨尔本大学、加拿大 INRS、马德里查尔斯三世大学和印度哈拉格布尔理工学院的多位研究人员，在最近的实验工作中[9]，通过对远程环境的仿真来减小感知延迟所带来的不利影响。由人工智能预测触觉反馈，然后将预测的反馈传递给人类操作员。



典型触觉互联网操作[11]

三、机遇与未来

研究表明，在基于触觉的虚拟现实和远程操作应用中，使用基于人工神经网络的分类器和预测器是可行的。



在基于 TDM 或 WDM-PON 的 FiWi 网络上使用 H2M 服务器的本地和远程操作示意图[9]

这方面的研究还处于起步阶段，存在发展空间和潜在机遇，特别是设计实用化的高效能预测器，使其能够切实解决 150km 时延给触觉互联网远程应用带来的难题，从而使得实际应用距离远远超过 150km，这对于触觉互联网的技术发展和实际应用都具有重要意义。

最后还有一句：超低时延的同时，别忘了还有高可靠问题。

参考文献：

[1] 通信之极限挑战. 临菲信息技术港

[2] G. P. Fettweis, “The tactile Internet: Applications and challenges,” IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 9, no. 1, pp. 64–70, Mar. 2014.

[3] M. Maier, M. Chowdhury, B. P. Rimal, and D. P. Van, “The tactile Internet: Vision, recent progress, and open challenges,” IEEE Commun. Mag., vol. 54, no. 5, pp. 138–145, May 2016.

[4] M. Simsek, A. Aijaz, M. Dohler, J. Sachs, and G. Fettweis, “5G enabled tactile Internet,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 34, no. 3, pp. 460–473, Mar. 2016.

[5] D. V. D. Berg et al., “Challenges in haptic communications over the tactile Internet,” IEEE Access, vol. 5, pp. 23502–23518, 2017.

[6] M. Maier and A. Ebrahimzadeh, “Towards immersive tactile Internet experiences: Low-latency FiWi enhanced mobile networks with edge intelligence [Invited],” IEEE/OSA J. Opt. Commun. Netw., vol. 11, no. 4, pp. B10–B25, Apr. 2019.

[7] M. Maier, A. Ebrahimzadeh, and M. Chowdhury, “The tactile Internet: Automation or augmentation of the human?” IEEE Access, vol. 6, pp. 41607–41618, 2018.

[8] F. Boabang, R. Glitho, H. Elbiaze, F. Belqasmi, and O. Alfandi, “A framework for predicting haptic feedback in needle insertion in remote robotic surgery,” in Proc. IEEE Consum. Commun. Netw. Conf. (CCNC), Las Vegas, CA, USA, Jan. 2020, pp. 1–6.

[9] S. Mondal, L. Ruan, M. Maier, D. Larrabeiti, G. Das, and E. Wong, “Enabling remote human-to-machine applications with AI-enhanced servers over access networks,” IEEE Open J. Commun. Soc., vol. 1, pp. 889–899, 2020.

[10] PROMWONGSA et al.， Comprehensive survey of tactile internet: state-of-the-art and research directions，IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 23, No. 1, pp.472-523, 2021

[11] R. Ali et al.， URLLC for 5G and Beyond: Requirements, Enabling Incumbent Technologies and Network Intelligence, IEEE Access，VOLUME 9, pp. 67064- 67095, 2021

临菲信息技术港 临菲信息技术港公众号 临菲学堂