

人工智能增强的太赫兹火炬认知解调技术

临菲信息技术港

太赫兹(Terahertz 或者 THz)波段可以定义为 0.3 THz~3 THz 的电磁波。从频率上看,太赫兹波段处于微波与光波之间,被称为“太赫兹间隙”(THz Gap)。然而,近年来的一系列研究表明,正是在这个间隙,存在着巨大的开发潜力和应用价值。它可以广泛地应用于爆炸物检测、药品检测、成像、雷达和无线宽带通信。

本号曾发布原创文章“太赫兹波束赋形:基本概念、技术思路、实验系统与应用前景”,本期介绍一种人工智能增强的太赫兹通信认知解调技术。

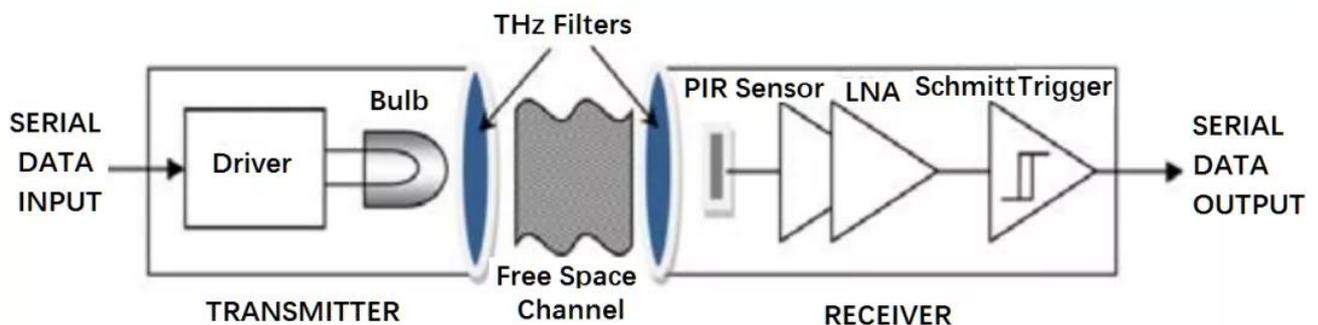
最近,Nature 的 Scientific Report 报道了一种关于太赫兹无线链路解调的研究成果[1]。

作者报告的“认知解调”(Cognitive Demodulation),利用人工智能技术,在实验室内,误比特率性能提高了 100 倍以上;在非实验室环境下,误码率提高了约 60 倍。此外,解调速度也大大提高,可以实时解调。除了软件上的进步,文章还展示了硬件方面的重要改进。这项技术已经走出了实验室,在办公室走廊里进行了现场试验。

系统构成

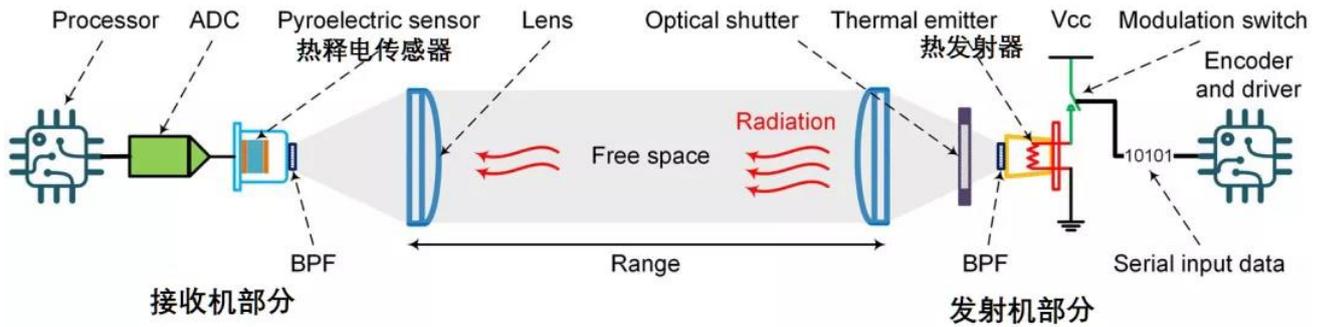
这个被研究小组称为“太赫兹火炬”(“THz Torch”)的系统,是一个超低价格的太赫兹近距离无线连接。

“THz Torch”的系统模型最早在 2011 年提出,基本架构如下图[2]。该系统使用简单的 OOK 调制,工作于 25~50THz 之间。



超低成本 OOK“THz Torch”无线通信链路架构

该系统利用了超低成本的热发射器(微型白炽灯阵列),通过热发射产生非相干的电磁能量,接收端采用热释电红外(pyroelectric infrared, PIR)传感器,从而构成无线链路。为了使峰值光谱功率密度位于电磁光谱的远/中红外部分,灯丝需要能够发热,钨灯泡是这种应用的首选。

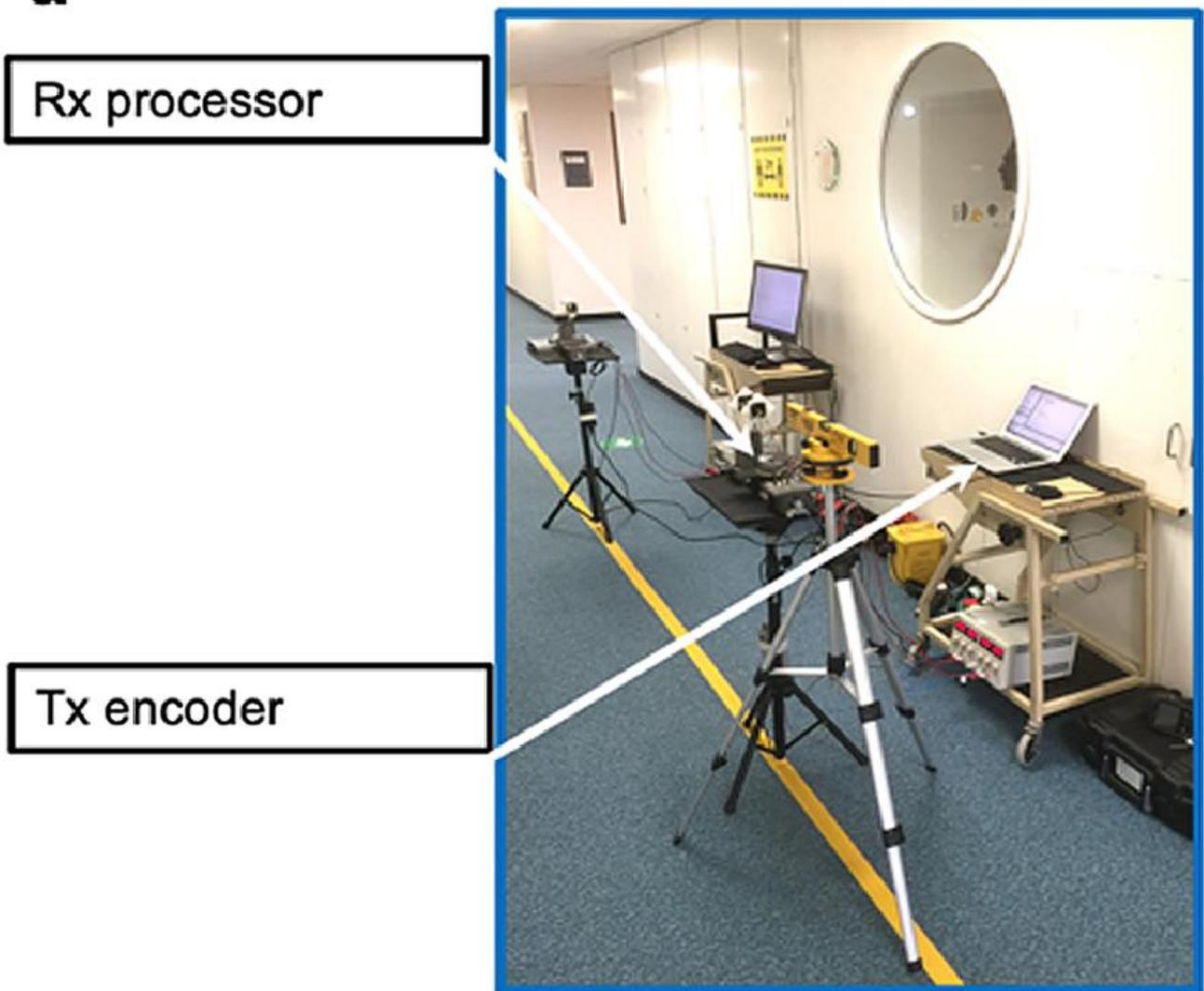


"THz Torch"系统基本组成单元[3]

该研究小组 9 年来，从系统级架构到设备级实现技术多方面进行了研究，在保持使用固有的低成本组件的同时，使该技术可用于安全应用（例如，私钥遥控器、隐蔽遥控、安全设备数据链路等）的低数据速率无线链路。

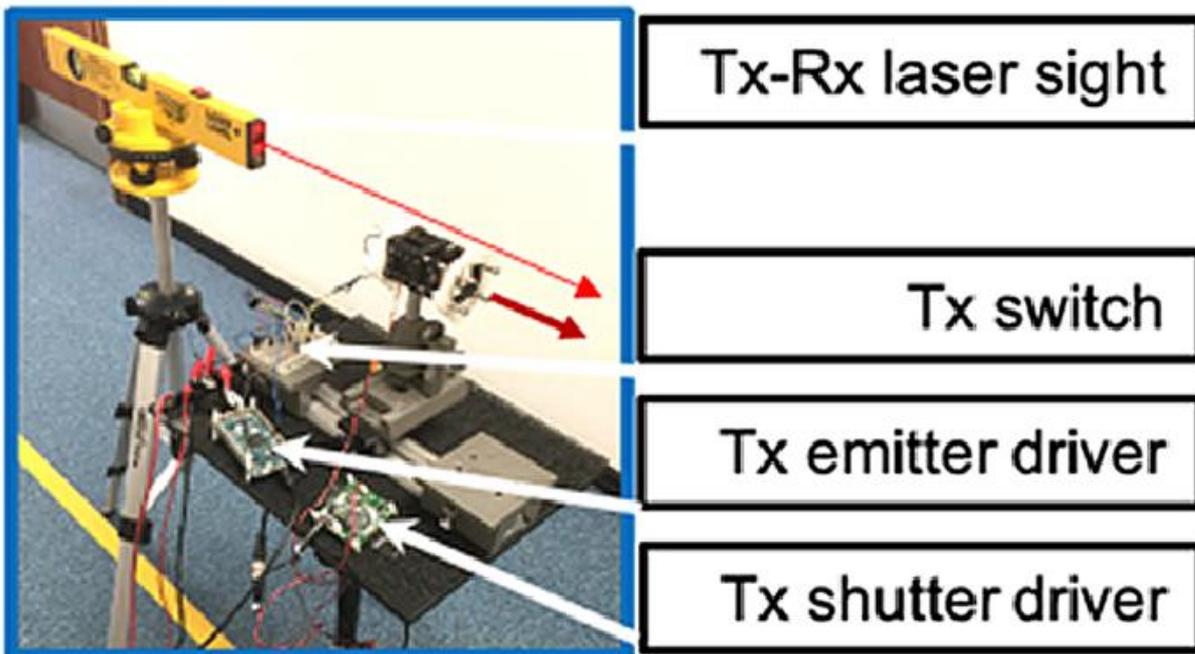
实验系统如下所示[1]:

a



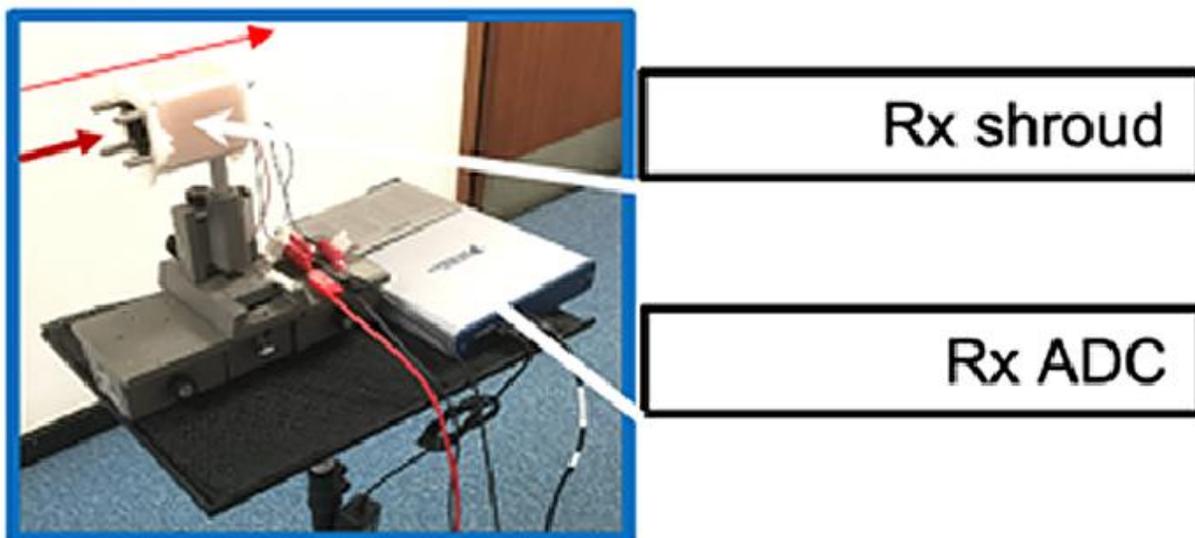
(a) 收发链路展示

b

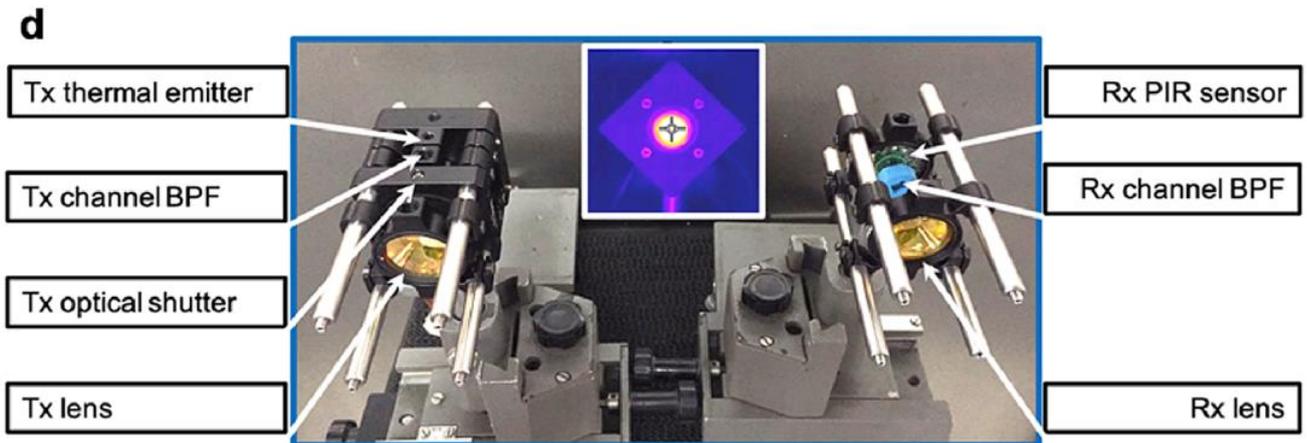


(b) 发射机

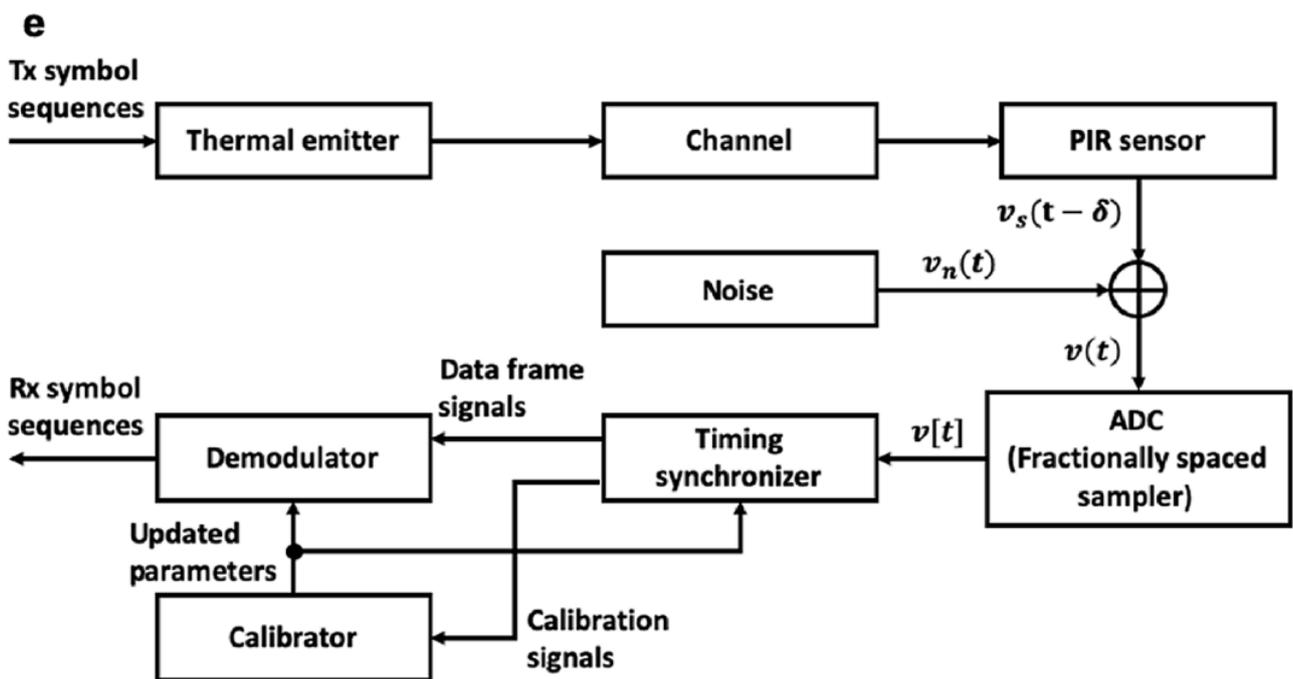
c



(c) 接收机



(d) 热图像



(e) 收发信基本功能框图

“THz Torch”实验系统

认知解调

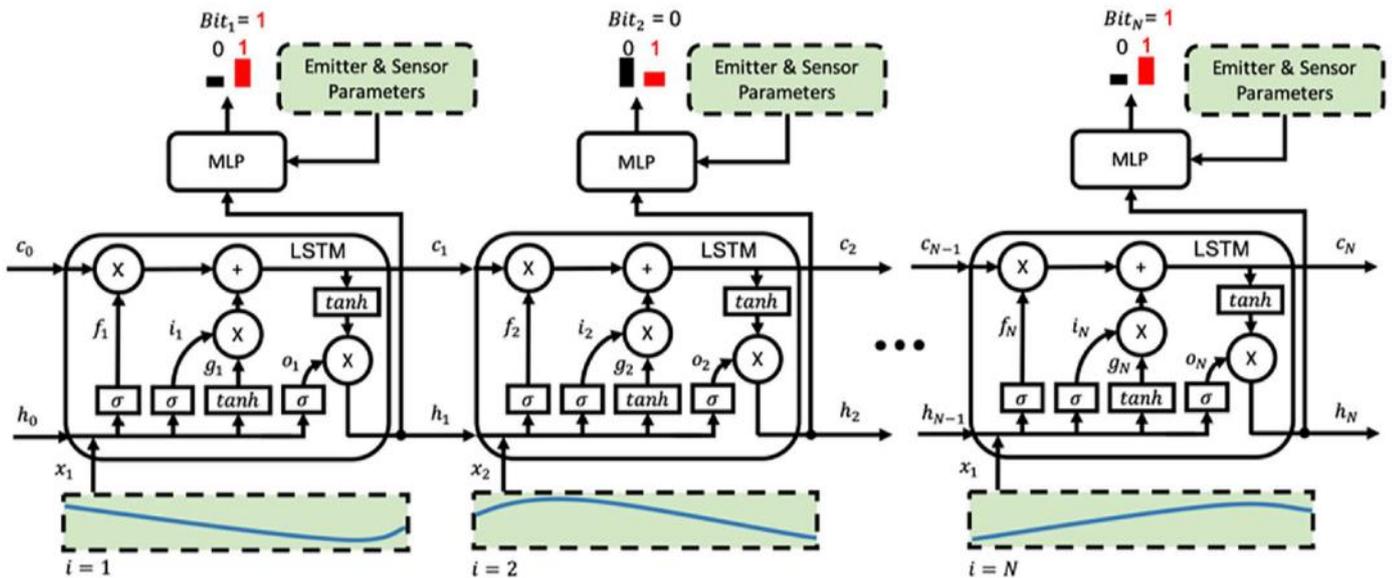
认知无线电 (Cognitive Radio) 是无线通信的不小进步。它把感知、推理、决策引入到无线通信中来。认知无线电的主要内容是感知可用频谱，让非授权用户也能享用授权频谱，从而解决频谱资源紧缺问题。

如果基于传统的门限检测，是检测 PIR 传感器输出电压，而“THz Torch”的认知解调 (Cognitive Demodulation) 是指：动态预测下一个待接收比特两种可能的热瞬态。认知解调动态地确定帧的起始位置，并预测帧内每个比特的状态。

认知解调后来获得了改进[1]：通过优化方法校准热辐射器参数值，使解调算法更加适应组件变化和環境变化；利用变化点检测的定时同步技术，在测量波形及其关联帧之间实现了更好的时间对齐；引入了长短期记忆网络 LSTM (Long-Short Term Memory)，显著提升了 BER 性能和计算效率。下面将介绍最后一项改进。

人工智能增强认知解调

将基于热力学的模型与人工智能相结合，文献[1]将神经网络引入认知解调，具体实现采用 LSTM。见下图所示：



基于 LSTM 的认知解调器

在上图中， x_i 代表第 i 个比特的波形。对于每个比特，LSTM 获取与该比特相关联的同步测量波形，以更新其单元状态 c_i 和隐藏状态 h_i 。当更新的状态被传递到下一步时，隐藏状态 h_i 传送到多层感知 (Multi-Layer Perception, MLP)，由 MLP 对当前比特做出概率决策。

过拟合和域迁移 (domain shift) 会影响到基于 LSTM 的认知解调器的应用。虽然 LSTM 具有将测量波形映射为二进制比特的潜能，但它有可能会过拟合。解决方案是收集构建一个大的训练数据集，但这在实际中可能会很耗时。此外，由于发射器和感知器参数值的时变性，会发生域迁移。在训练数据集没有覆盖系统参数值的情况下，传统的基于学习的解调器可能工作得很差。但文献[1]认为，通过基于热力学的完整模型建立训练数据集，可以解决过拟合和域迁移问题。

参考文献

- [1] Hang Ren, Sang-Hee Shin & Stepan Lucyszyn, Enhanced cognitive demodulation with artificial intelligence, Sci. Rep. (2020) 10:20298
- [2] Lucyszyn, S., Lu, H. & Hu, F. Ultra-low cost THz short-range wireless link. In IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Millimeter Wave Integration Technologies, 49 - 52 (IEEE, 2011).

[3] Ren, H. & Lucyszyn, S. Thermodynamics-based cognitive demodulation for ‘THz Torch’ wireless communications links. Sci. Rep. 10, 1 – 12 (2020).



临菲信息技术港



临菲信息技术港公众号



临菲学堂



临菲少年