

论文推荐

无线信息与能量传输：理论、原型和实验

临菲歌

该文是无线传能（WPT）和无线信息与能量传输（WIPT）的综述，首先论述构建 WPT 和 WIPT 模块的基本理论，然后讨论实验装置和原型。

人们用无线来传输信息（无线通信），人们还将用无线来传输电能（无线传能，WPT）。如果把这二者结合起来，便是用无线实现信息与能量传输（WIPT）。

此类网络将充分利用射频频谱和辐射，以及用于通信和传能双重目的的网络基础设施，使得数以万亿计的未来低功耗设备能够随时随地在移动中感知、计算、通信和获得电能。

本文首先概述了 WPT 和 WIPT 的基本理论基础。然后，讨论了 WPT 和 WIPT 的一些最先进的实验装置和原型，并对比了理论和实验结果。

文中特别关注 WPT 和 WIPT 的射频、信号和系统设计的集成如何带来新的理论和实验设计挑战，并强调了一些有前景的解决方案。

讨论的主题和实验平台涵盖闭环 WPT 和 WIPT 架构，包括波束形成、波形、信道捕获和单天线/多天线能量采集器、集中式和分布式 WPT、WPT 的可重构超表面和智能表面、WIPT 的发射机和接收机架构、调制、速率-能量权衡。此外，针对 WPT 和 WIPT 成为未来无线网络基础技术必须解决的问题，强调了重要的理论和实验研究方向。

I. 引言

INTRODUCTION

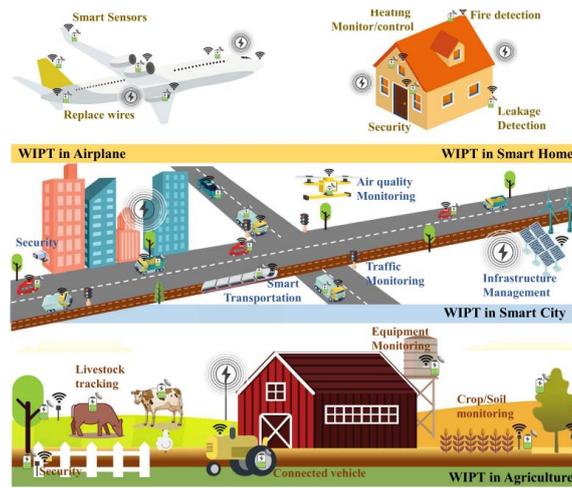


Fig.1. WPT 和 WIPT 的应用

II. 无线传能 (WPT)

WIRELESS POWER TRANSFER

A. 结构 Architecture

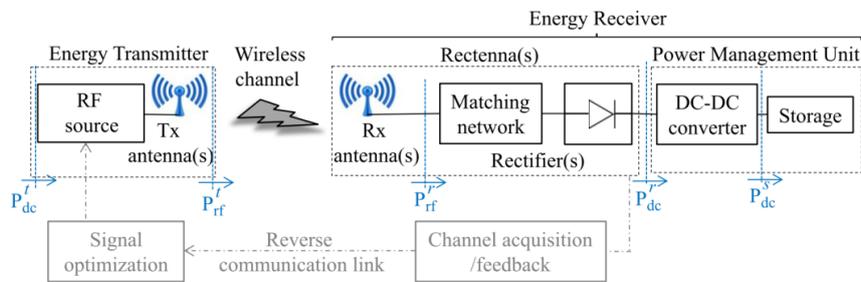


Fig.2. 闭环和自适应 WPT 结构的框图

1) 能量发射机

多天线传输：单天线作为多天线的特例；联合波形和波束形成。

M 个发射天线的发射信号可以用向量形式写成：

$$\mathbf{x}_{\text{rf}}(t) = \sqrt{2} \Re \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{x}_n e^{j2\pi f_n t} \right\} \quad (2)$$

M 个天线，n 个频率，未调制正弦波； \mathbf{x}_n ：1×M 向量，频率为 f_n 时的 M 个天线的权值向量。

2) 无线信道

多径信道：每径的时延和增益，多收发天线在多个频率上的相移。

随着可重构智能表面（RIS）和智能反射表面（IRS）的进步，可以预见未来能够设计无线信道。

3) 能量接收

单天线接收或多天线接收，构成 MISO 或 MIMO WPT 系统。

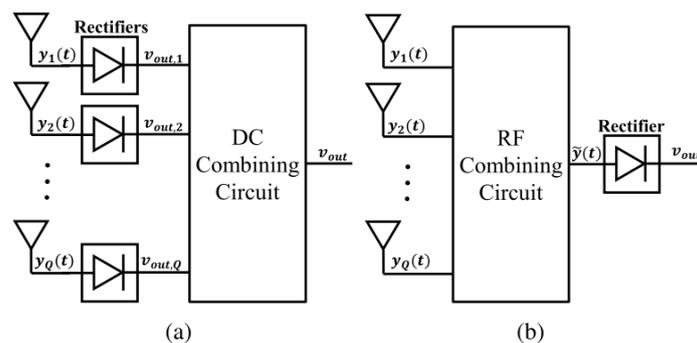


Fig. 5. 两种类型的多天线接收机 (a) 直流组合接收机 (b) 射频组合接收机。

4) 信号优化

优化目标：在发射功率约束下，最佳的传输策略，以获得最大的接收输出功率；优化参数：N 个发射频率、组合器、散射矩阵。

5) 信道捕获

为了实现优化，需要在发射端知道信道状态信息（CSI）。

图 7 示出了几种 CSI 捕获策略，包括具有 CSI 反馈的前向链路训练、通过信道互易性的反向链路训练、具有有限反馈的功率探测以及基于后向散射通信的信道估计。

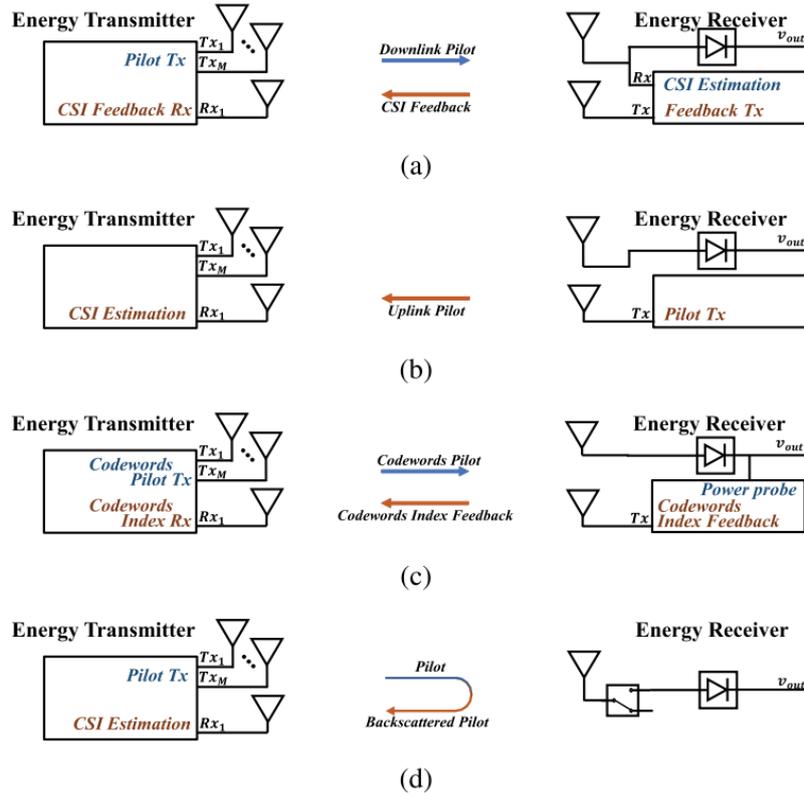


Fig. 7. 发端获得信道状态信息的 4 种策略

B. 原型与实验 Prototypes and Experiments

1) 920 MHz 远程 MISO WPT 原型

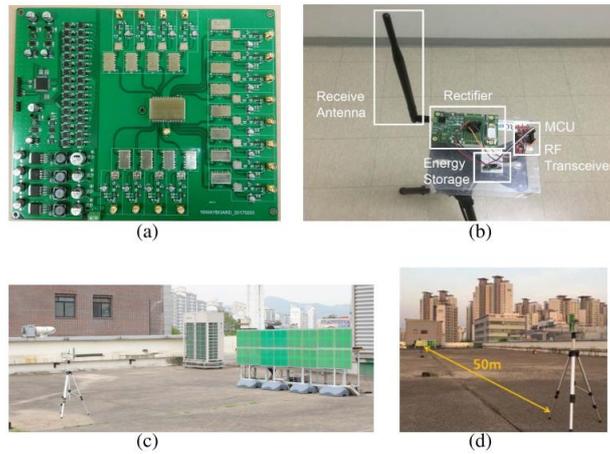


Fig. 10. 20 MHz WPT 原型试验台 (a) 相控阵电路板 (b) 传感器设备 (c) 户外测试环境 (d) 50 米 WPT 试验

2) 具有自适应波形的 2.4 GHz MISO WPT 原型

闭环 WPT，自适应波形和波束形成。

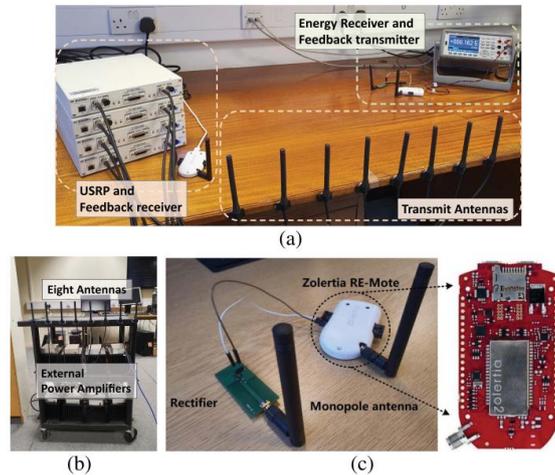


Fig. 12. 具有有限反馈的闭环 WPT 原型系统 (a) 系统原型 (b) 用于远程实验的发射天线和放大器 (c) 使用 Zolertia RE-Mote 的能量接收机和反馈系统

3) 920 MHz 和 2.4 GHz 分布式天线 WPT 原型

分布式天线充分协作，使得所有发射天线信号的相位在接收天线处对齐（基于 MRT 波束成形）。

4) 5.8GHz RIS 辅助 MIMO WPT 原型

中等距离，可重构智能表面辅助。

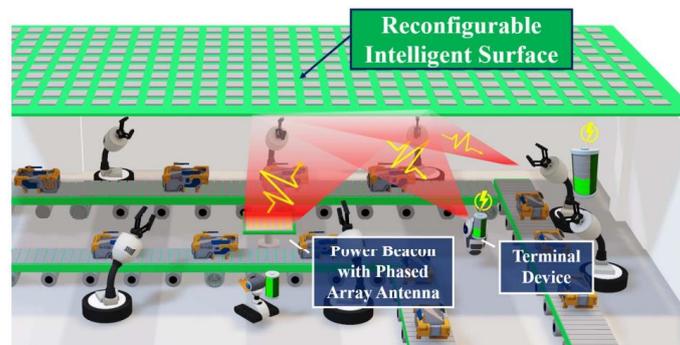


Fig. 17. RIS 辅助的 WPT 概念应用场景

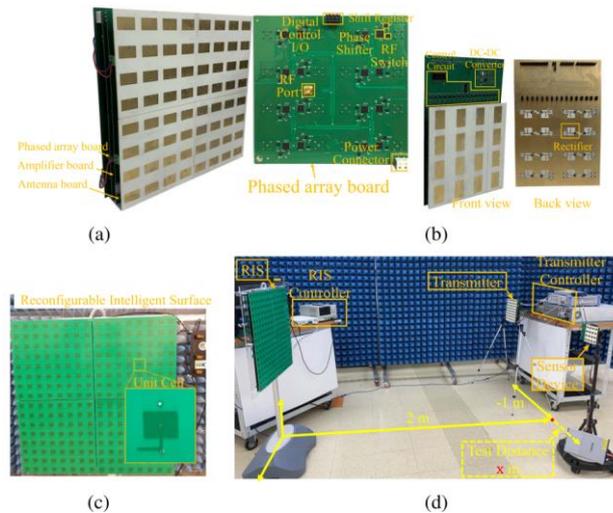


Fig. 18. 5.8GHz RIS 辅助 MIMO WPT 原型测试台 (a) 5.8GHz 相控阵发射机 (b) 传感器装置 (c) RIS 板 (d) 实验装置。

III. 无线信息与能量传输 (WIPT)

WIRELESS INFORMATION AND POWER TRANSFER

无线信息与能量传输系统可以分为三类：

Simultaneous WIPT (SWIPT)，中文通常称为：“无线携能通信”：信息和能量同时从发射机发送到接收机。

Wirelessly Powered Communication Networks (WPCNs)，无线供电通信网络（或无线能量通信网络）：下行链路从基站到设备进行能量传输，上行链路传输进行信息传输。设备在下行链路中收集能量，并使用收集到的能量在上行链路中传输数据。

Wirelessly Powered Backscatter Communication (WPBC)，无线供电（或无线能量）反向散射通信（WPBC）：下行链路用于向设备传输能量，上行链路用于通过反射和调制入射频信号，使用反向散射调制从标签向读取器传输信息。

该文详细介绍 SWIPT（无线携能通信）的架构、原型和实验。

A. 架构 Architecture

将通信和传能整合到一个 SWIPT 架构中。

1) 发射机

由于要同时传输信息和能量，上面 (2) 式的发射信号中的权值向量 X_n 要替换为时变 $X_n(t)$ ，它包含了调制信息和能量承载信号，而不只是后者。

2) 接收机

接收机包含信息解码器 (information decoder, ID) 和能量采集器 (energy harvester, EH)。

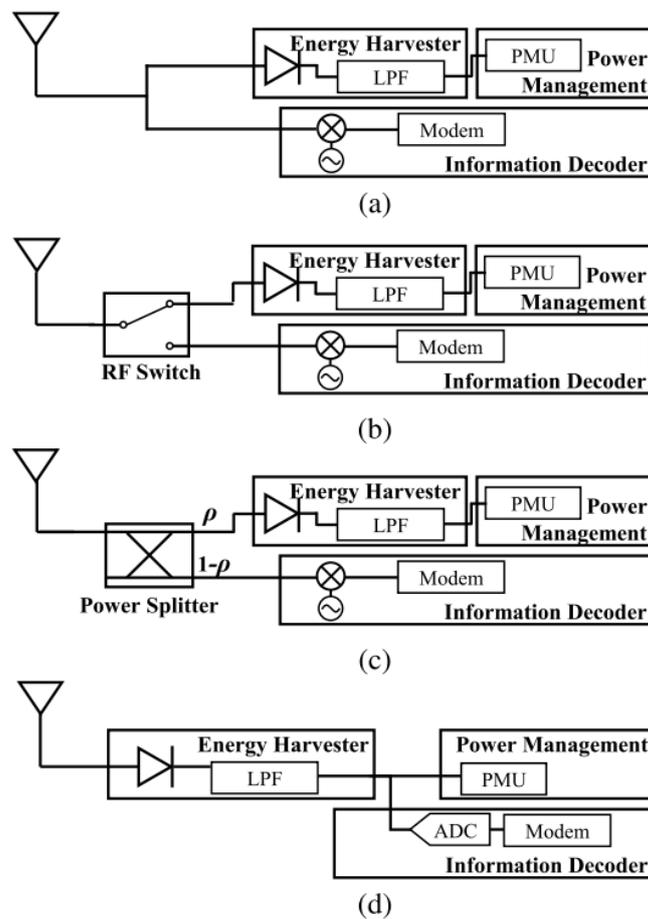


Fig. 20. 4 种单天线 SWIPT 接收机结构 (a) 理想接收机 (信息和能量接收使用相同的信号) (b) ST 接收机 (切换信息和能量接收) (c) PS 接收机 (将信号的一部分拆分为信息接收, 其余部分拆分为能量接收) (d) 集成接收机 (在能量采集之后解码)。

3) 信号优化

信息速率、接收端能量采集可以提供的功率，二者的折中考虑。

速率-能量的折中考虑 (平衡)，可以通过计算信道容量来鉴识，其约束条件为发射功率小于等于给定功率、接收端能量采集提供的功率大于等于最小需求功率或目标输出功率。

B. 原型与实验 Prototypes and Experiments

1) 920-MHz SWIPT 原型

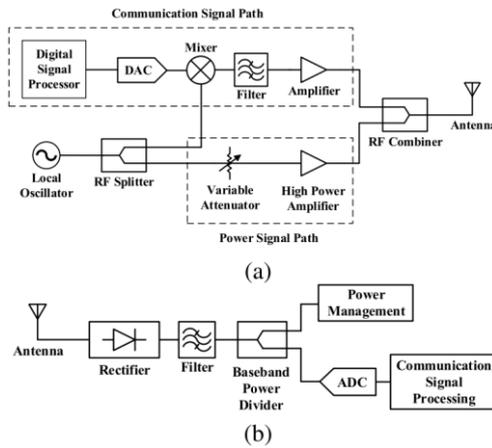


Fig. 23. SWIPT 结构 (a) 发射机结构 (b) 接收机结构

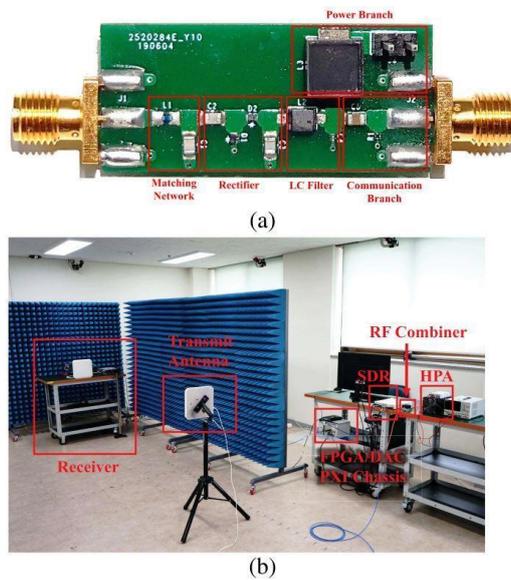


Fig. 24. SWIPT 原型测试平台 (a) 接收板照片 (b) SWIPT 系统试验照片

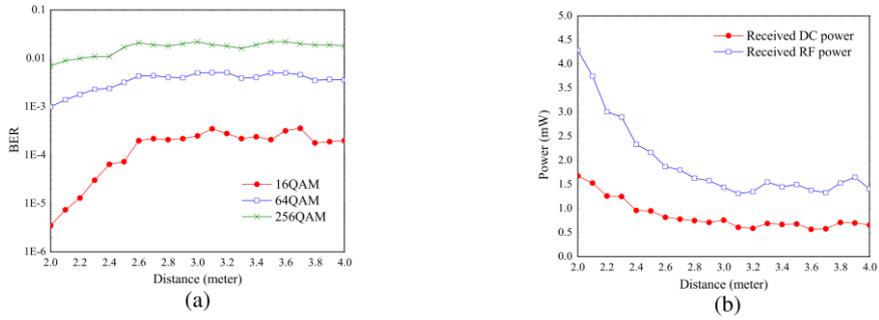


Fig. 28. 不同距离时的 SEIPT 性能 (a) BER (b) 接收的射频和直流功率

2) 带 TS、PS 和集成接收机的 2.4 GHz SWIPT 原型

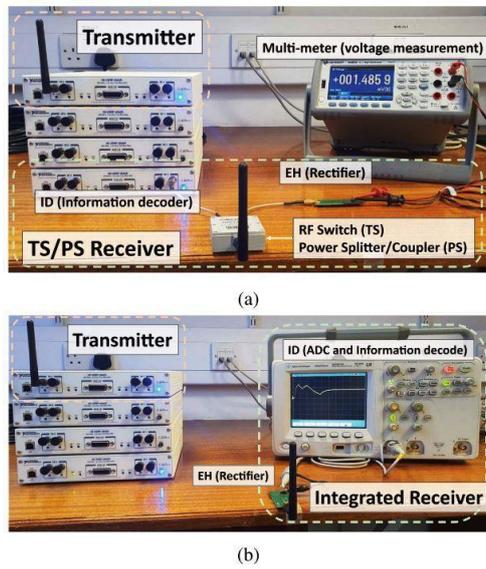


Fig. 27. SWIPT 原型系统 (a) PS/TS 接收机结构 (b) 集成接收机结构

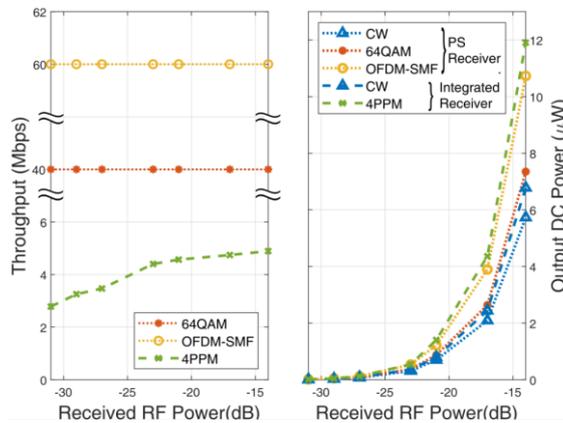


Fig. 28. 吞吐量和输出直流功率的性能

IV. 结论和未来研究

CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

(略)

推荐论文信息

原文题目:

Foundations of Wireless Information and Power Transfer: Theory, Prototypes, and Experiments

作者:

BRUNO CLERCKX , Fellow IEEE

JUNGHOO KIM , Member IEEE

KAE WON CHOI , Senior Member IEEE

DONG IN KIM , Fellow IEEE

发表场合: PROCEEDINGS OF THE IEEE | Vol. 110, No. 1, January 2022



临菲信息技术港



临菲信息技术港公众号



临菲少年