
从“拼结构”到“看拓扑”：RIS设计方法变了

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40724.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

从“拼结构”到“看拓扑”：RIS设计方法变了。

东南大学崔铁军教授、程强教授团队在Engineering发表题为A High-Efficiency and Versatile Reconfigurable Intelligent Surface Design Paradigm with Novel Topological Representation的研究性文章。该研究针对可重构智能表面（RIS）的设计问题，提出了一种拓扑表示方法及相应的设计范式。该方法旨在应对复杂设计空间带来的构建效率挑战，并为不同功能的超表面提供统一的结构描述框架。

从拼结构到看拓扑：RIS设计方法为什么变了？

可重构智能表面的设计逻辑，长期以来主要建立在对具体单元构型的组合与参数微调之上。在设计目标较为单一的阶段，研究者通过改变单元的几何形状或物理尺寸，能够实现对电磁波的特定调控。然而，随着无线通信应用对单元功能的要求不断提高，这种构型驱动的设计方式开始显现出局限性。真正的挑战在于：当单元结构参数数量随功能复杂度线性增加时，设计空间会呈现非线性扩展，导致传统的参数扫描与局部优化方法在计算成本上变得难以承受。此外，由于不同物理结构之间缺乏统一的数学描述，设计经验往往难以在不同器件间有效迁移。因此，在提升RIS单元构建效率之前，首要任务是改变对结构的表达方式，探索一种能够深度表征单元拓扑的框架。如图1所示，该研究提出了一套完整的设计范式：从拓扑表示方法（NBTRM）入手，通过少量控制点生成连续图案层结构，再结合分离设计架构，将单元拆分为独立子模块进行计算优化。这一框架使RIS的设计过程能够从机械地参数扫描中脱离出来，实现设计效率与通用性的双重提升。

。

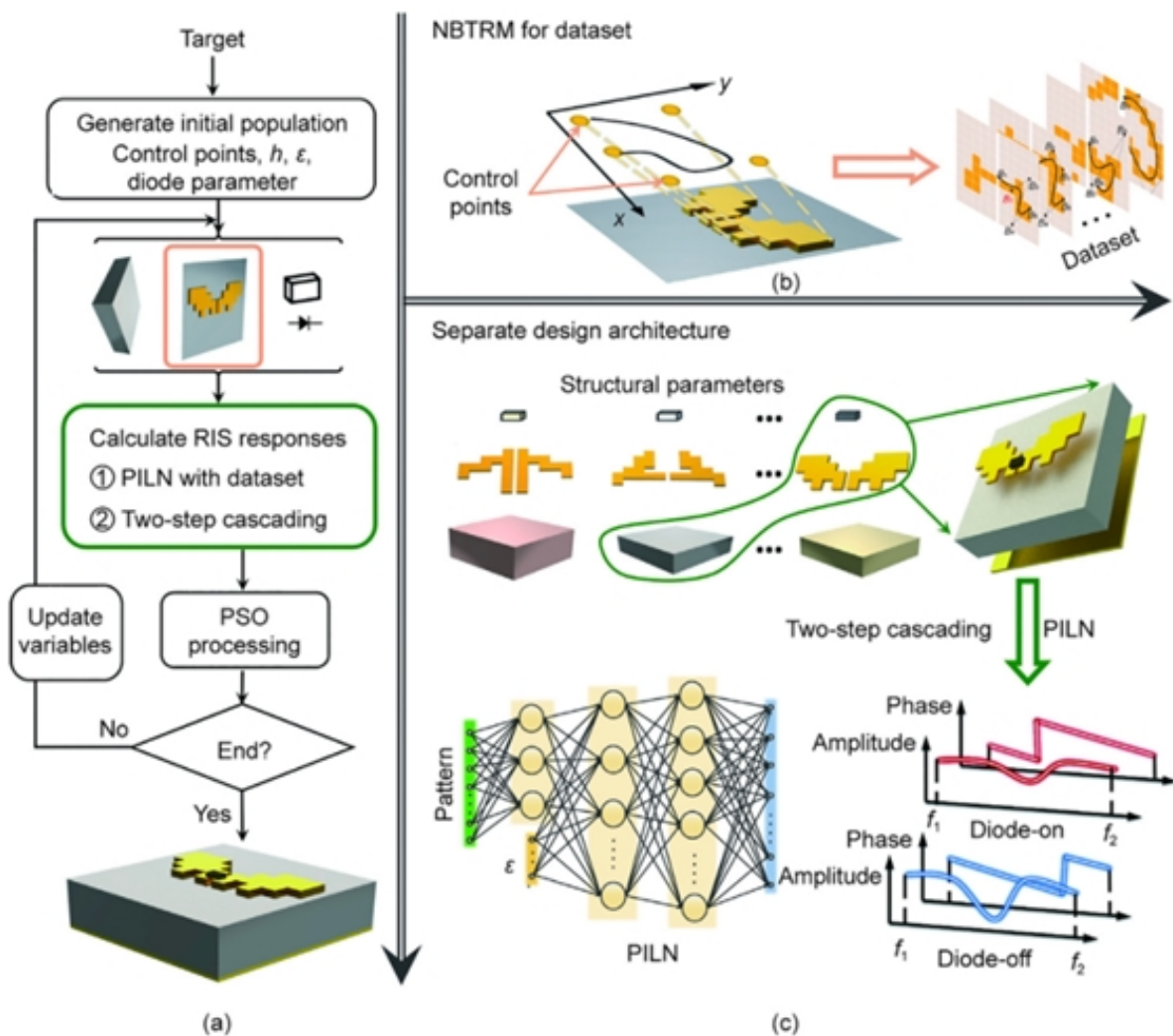


图1.基于拓扑表示的RIS设计整体框架

拓扑表示方法：结构关系的数学描述

面对日益复杂的设计任务，该研究并未尝试寻找某种万能构型，而是提出先改变RIS的表示方式和设计逻辑。与传统设计关注单元长什么样不同，这一新型拓扑表示方法侧重于对表层金属拓扑的数学刻画和精细调节。如图2所示，研究者通过引入非均匀有理B样条（NURBS）拓扑表示框架，仅用少量控制点即可生成连续平滑的表面结构，使RIS的设计过程能够从具体的几何参数中脱离出来。这种方式不再孤立地看待每一个物理参数，而是将超表面视为一个具有特定拓扑特征的系统。在这种视角下，拓扑表示不再是局部的几何修补，而是作为一种统一的描述语言，为不同形态的超表面提供了标准化的表达基础，从而降低了复杂设计任务对初期构型的依赖程度。

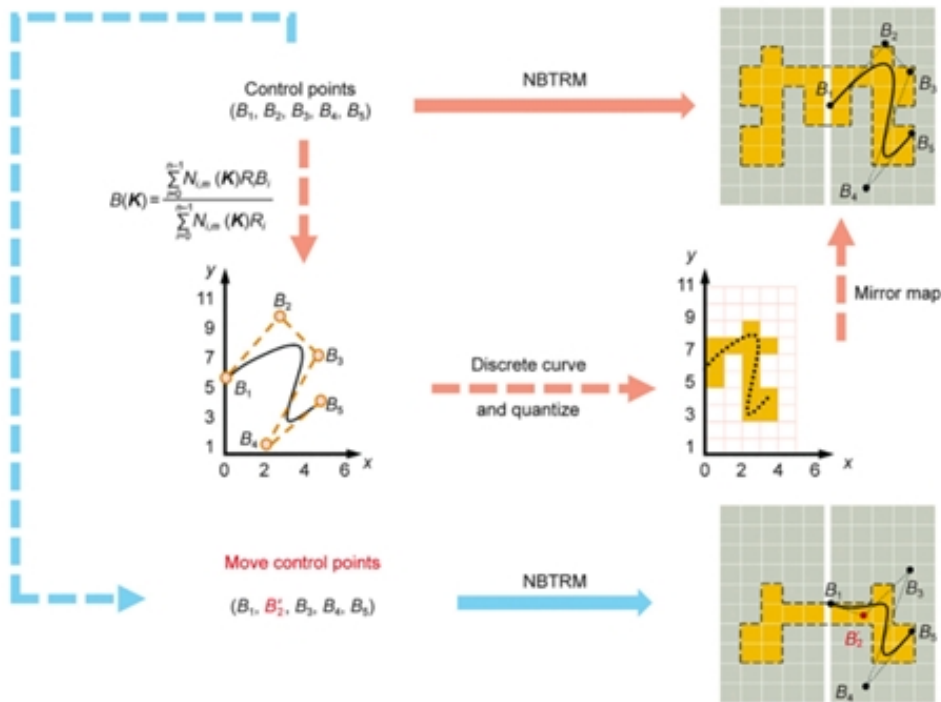


图2.NBTRM拓扑表示方法流程图

高效率与通用性兼具：从方法提出到设计范式还差哪一步？

在提出拓扑表示方法的基础上，本研究进一步构建了一套面向实际应用的设计范式。对于RIS而言，设计方法的价值不仅在于能否达成单一的性能指标，更在于面对不同频段、不同极化或不同调控精度需求时，能否以更低的计算成本实现单元方案构建。传统路径往往需要在庞大的参数库中进行海量搜索，而新的设计范式通过多端口微波网络理论在单元拓扑层级，拆分子模块并重新组合，实现了子模块的快速复用，减少了无效的参数迭代，从而提升了RIS的整体构建效率。此外，该范式表现出较强的通用性，通过同一套拓扑框架，可以支撑起从宽带到多精度调控等多种需求。这意味着RIS的设计正在从过去强依赖人工经验和随机优化的路径，走向更加系统化、规范化且具备可迁移性的构建阶段。

从方法提出到规模应用：RIS设计还面临哪些问题？

尽管本研究提出了拓扑表示与高效设计范式，但在从理论框架走向大规模工业应用的进程中，仍有若干问题需要探讨。首先，RIS涉及的单元拓扑形式极其丰富（如离散型图案层和透反一体复杂结构等），不同拓扑形态要求更通用的数学表示和更精细的层间耦合表征，新范式在这些条件下的适用性仍需进一步验证。其次，在面对大规模应用和实时设计需求时，如何与逆向神经网络有效结合也是未来研究的重点。也就是说，RIS设计要实现真正的系统化发展，不仅需要设计得快，还需要在多约束场景中保证覆盖面广、设计得稳、用得起来。

结果与讨论

本研究的重点不在于单一电磁指标的突破，而在于围绕RIS设计这一核心命题，建立了一套从拓扑表示到高效范式的系统性方法学。其核心思路在于，通过对超表面结构表达逻辑的重新组织，

应对设计复杂度增加带来的效率问题，为高性能电磁器件的研发提供了新思路。

从更广的科研维度看，这项工作反映出可重构智能表面领域正在经历从经验驱动向系统化建模的演进过程。这种从拼结构到看拓扑的思维转变，不仅提升了设计效率，也为未来更复杂的智能电磁系统构建提供了标准化的描述基石。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209580992400715X>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：崔铁军等 来源：《工程》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发