

王铮研究团队提出一种基于电流镜阵列架构的机器学习与物理不可克隆功能计算引擎

中国科学院深圳先进技术研究院异构智能研究中心王铮研究团队参与的研究在物联网计算引擎方面取得进展。相应成果为“Chen Y, Wang Z, Patil A, et al. A 2.86-TOPS/W current mirror cross-bar-based machine-learning and physical unclonable function engine for internet-of-things applications [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2019, 66 (6): 2240-2252(面向物联网应用——一种基于电流镜阵列架构的机器学习与物理不可克隆功能计算引擎(2.86TOPS/W 算力能耗比))”。

近年来, 高效能机器学习与物理不可克隆功能在物联网领域获得高度重视。其中, 机器学习技术可以在边缘计算节点上进行快速数据分析, 物理不可克隆功能可实现身份鉴定与加密功能。

该研究提出一种基于电流镜阵列架构的机器学习与强物理不可克隆功能计算引擎, 两种功能实现于同一款电路结构上, 从而实现了芯片面积 48.5 倍的缩小。该研究还提出一种新颖的随机数

扩展技术, 打破芯片物理限制, 产生更多的人工神经元随机权重与物理不可克隆功能激励响应对。具体地, 该研究首先采用基于电流镜阵列结构的混合信号处理器, 支持基于最小二乘法的快速训练; 其次, 通过维度扩展技术产生 8 倍于前期工作的人工神经元数目; 最后, 通过电流镜电路的镜像电流叠加实现了强物理不可克隆功能架构。

结果显示, 基于该电路结构的混合信号处理器在 65 nm CMOS 工艺流片上实现了 2.86 TOPS/W 的算力能耗比。在人工智能应用方面, 基于 MNIST 数据集的图像识别达到 6.34% 的识别误差, 物理不可克隆功能实现 2.3% 的本征误码率, 单个激励响应对所占面积仅为 4.17×10^{-59} 平方微米。

该工作首次提出在物流网终端节点上同时支持机器学习与物理不可克隆功能的电路结构, 并基于该结构进行混合信号芯片设计与流片, 具有计算能耗比高, 且每次分类计算测量能耗仅 114 nJ。该芯片依靠其多模式、低功耗的特性可应用于物联网终端设备, 兼具智能化与安全性。

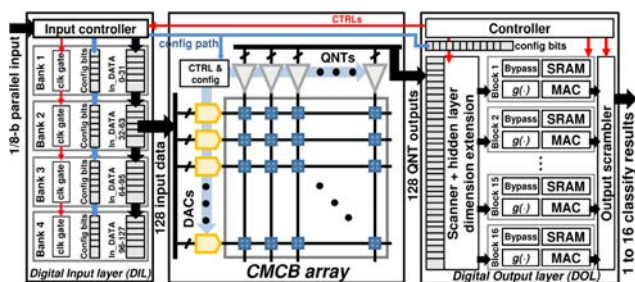


图 1 包含 3 个基本模块芯片架构图: 数字输入、模拟电流镜阵列和数字输出

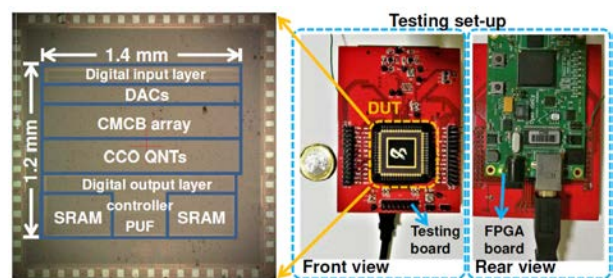


图 2 芯片显微图与测试环境图