

Microelectronic Design and Optimization Using Artificial Intelligence Technology

Xiangkun Wang Ping Yu Mingyu Chen Ben Gao Jing Song*

School of Physics and Electronic Engineering, Linyi University, Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract

In the 21st century, artificial intelligence technology has been rapidly developed, and at this stage, people's attention to artificial intelligence has reached an unprecedented level. At the same time, microelectronics technology is also playing an increasingly important role in human society, and almost all kinds of electronic products have applied microelectronics technology. Machine learning and intelligent optimization algorithms of artificial intelligence can play an important role in circuit design optimization, IC layout optimization, device parameter optimization, circuit modeling and simulation, physical design, chip testing and verification, fault diagnosis and repair in the process of microelectronics design and manufacturing. The application of artificial intelligence technology makes the design and manufacturing of microelectronics more efficient, which can save a lot of time, manpower, material and financial resources.

Keywords

artificial intelligence; microelectronics; optimisation algorithms

应用人工智能技术的微电子设计与优化

王祥坤 于平 陈明宇 高奔 宋静*

临沂大学物理与工程学院, 中国·山东 临沂 276000

摘要

在21世纪,人工智能技术得到了迅猛发展,现阶段,人们对人工智能的重视程度达到了前所未有的水平。同时,微电子技术也在人类社会中发挥着越来越重要的作用,各式各样的电子产品几乎都应用了微电子技术。人工智能的机器学习和智能优化算法,可以在微电子设计与制造过程中电路设计优化、IC布局优化、器件参数优化、电路建模和仿真、物理设计、芯片测试与验证、故障诊断与修复等方面发挥重要的作用。人工智能技术的应用,使得微电子设计与制造变得更加高效,可以节省大量的时间、人力、物力和财力。

关键词

人工智能; 微电子; 优化算法

1 引言

微电子是一种处理微小电信号和控制电信号的技术。它包括用半导体材料制造各种电子元器件以及将这些元器件集成在一起形成集成电路(Integrated Circuit, 简称IC)的技术。人工智能(Artificial Intelligence, 简称AI)是一种模拟人类智能思维和行为的技术和理论。它通过计算机系统模拟人类的感知、思考、决策和行动等智能行为具有广泛的应用前景和巨大的社会价值。

论文将这两种尖端技术结合起来,从人工智能的机器

学习和智能算法优化角度,具体分析了在微电子设计与制造的几个关键步骤人工智能的应用,可以让读者了解到人工智能在微电子设计与制造领域能够发挥巨大的作用。

2 原理

人工智能技术已经成为微电子设计与优化的重要工具。其基本原理是通过模拟人类大脑的学习和决策过程,从大量的数据中提取有用的信息,并帮助设计师找到最佳的设计方案。人工智能技术包括机器学习和智能优化算法两个方面。

2.1 机器学习

2.1.1 深度学习

深度学习是人工智能技术中的重要方法之一,其原理是通过构建多层神经网络来学习输入数据的隐含模式和特征表示。在微电子设计和优化中,深度学习可以用于建立模型,从而实现自动化设计和优化。例如,可以通过训练深度学习模型来预测电路的性能指标,或者通过优化算法来调整

【作者简介】王祥坤(2004-),男,中国山东聊城人,在读本科生,从事微电子科学与工程研究。

【通讯作者】宋静(1996-),女,中国山东临沂人,硕士,助教,从事思想政治教育研究。

电路参数。

2.1.2 强化学习

强化学习是一种通过与环境交互来学习最优策略的机器学习方法。在微电子设计和优化中，可以将电子设计任务看作一个强化学习问题，通过定义状态、动作和奖励函数，让智能体学习如何根据当前状态选择最佳动作，以获得最大的奖励。通过强化学习，可以实现对电路参数的优化，使得电路在给定的目标和约束下达到最佳性能（见图1）。

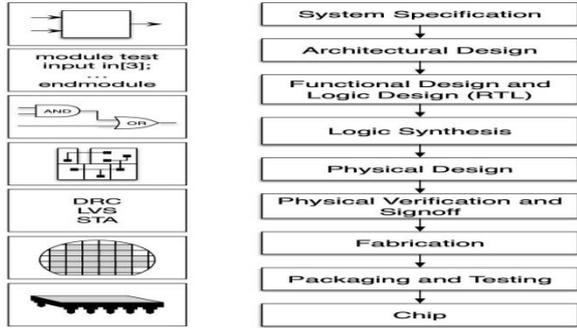


图1 强化学习

2.1.3 数据驱动方法

通过收集和分析大量的微电子设计数据，可以建立模型来推断电路结构和参数设置的最佳选择。例如，可以使用机器学习算法，通过学习大量的数据和模式，预测最佳设计参数，并对芯片设计中的关键参数进行优化，提供设计师参考。且还可以预测新设计的性能，并为设计师提供指导和建议。这种方法可以大大减少设计时间和成本，并提高芯片的性能。

2.2 智能优化算法

智能优化算法^[1]通过模拟自然系统的行为，寻找最优解。在集成电路设计中，这些算法可以帮助设计师快速找到最佳电路拓扑结构和参数设置，以提高电路的性能和可靠性。通过使用遗传算法、粒子群优化、模拟退火等优化算法，结合人工智能技术，可以实现自动搜索和调整电路参数的目标，以达到设计优化的目的。

2.2.1 遗传算法

遗传算法^[2]是一种模拟自然进化过程的优化算法。在微电子设计中，遗传算法可以通过遗传操作（交叉、变异等）来生成新的设计解，并通过适应度函数评估其质量。经过多次迭代，遗传算法可以找到最佳的设计方案。

2.2.2 粒子群优化

粒子群优化^[3]算法模拟了鸟群觅食的行为。在微电子设计中，粒子群算法可以将设计参数看作是粒子的位置，在设计空间中搜索最佳解。通过调整粒子的速度和位置，粒子群优化算法^[4]可以逐步优化设计方案。

2.2.3 模拟退火算法

模拟退火算法模拟了固体物质退火的过程。在微电子设计中，模拟退火算法通过随机搜索来避免陷入局部最优

解。通过温度参数的调整，模拟退火算法可以在设计空间中找到全局最优解。机器学习方法见图2。



图2 机器学习方法

3 运行

应用人工智能强大的算法和模型；通过大量实例对人工智能进行大量的训练，可以使人工智能在微电子设计整个流程中发挥关键作用。

3.1 电路设计优化

通过使用人工智能技术进行电路设计优化^[5]，可以提高电路设计的效率和性能。人工智能可以利用机器学习和优化算法，自动完成电路的布局和布线，实现电路元件的最佳位置和连线。这有助于提高电路的可靠性和性能，降低电路布局布线的时间和人工成本。使用智能算法还可以自动优化电路参数，减少功耗，提高速度和稳定性，还可以利用机器学习算法预测电路中的故障和异常，并提供相应的修复方法。

基于遗传算法的负载均衡调度策略见图3。

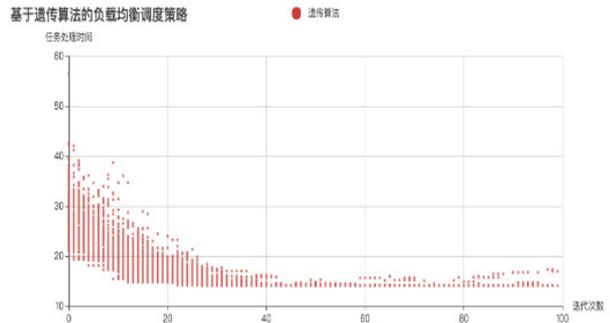


图3 基于遗传算法的负载均衡调度策略

3.2 IC 布局优化

3.2.1 自动化布局

人工智能可以通过学习和优化算法，自动化地生成高效的IC布局方案。布局是决定IC性能和可靠性的重要环节，传统布局通常需要设计师根据经验进行手动调整，耗费大量时间和精力。而人工智能的自动化布局能够更快速地生成满足设计要求的布局，并且可以考虑到更多因素，如电路性能、功耗、电磁干扰等。

3.2.2 多目标优化

IC布局优化通常涉及多个冲突的目标，如最小化面积、最大化性能、最小化功耗等。人工智能可以利用多目标优化算法，对这些目标进行权衡和优化，找到一个平衡的解决方

案。通过与设计规则的匹配以及模拟和分析工具的结合，人工智能可以找到更好的布局设计。

3.2.3 特定应用需求

不同的应用场景对 IC 布局有不同的需求，如高速、低功耗、低噪声等。人工智能可以根据不同应用需求进行学习 and 优化，生成针对特定应用的布局策略，提高电路设计的性能和可靠性。

3.3 器件参数优化

3.3.1 自动参数搜索

人工智能可以通过自动学习和优化算法，自动化地搜索电子器件参数的最佳取值。通过对器件工作原理的深入分析和建模，结合优化算法进行自动学习，并不断调整和优化器件参数，最终达到最优性能和最小功耗的目标。

3.3.2 高维参数空间优化

对于复杂的电子器件模型，参数空间往往非常大，高维度性也非常突出。传统的参数调优方法，很难直接优化大规模的高维参数模型，而人工智能则具备优秀的优化和学习能力，能够有效地避免参数优化过程中的局部最优解问题，从而针对不同的应用场景，实现高维参数模型的最大化性能和最小化功耗的优化目标。

3.3.3 精度提升

人工智能透过深度学习等技术，可以建立高精度的器件参数模型和预测模型，从而提升器件参数优化的精度和准确性，在满足技术要求的前提下，最大限度地减少电子器件参数设计周期和实验成本。

3.3.4 大规模数据优化

在器件参数的确定过程中，需要依据大量的数据和规则进行分析和决策。人工智能可以通过大数据分析和深度学习方式，深入研究和利用先前的数据和模型，以更加准确、高效地完成新型器件参数的优化工作（见图 4）。

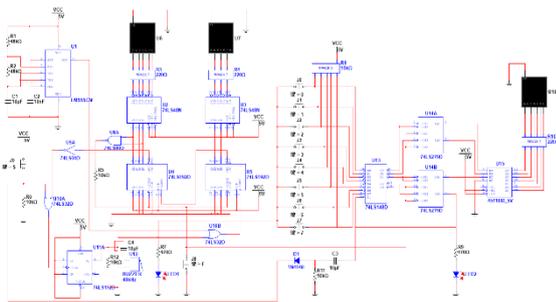


图 4 大规模数据优化

3.4 电路建模和仿真

在微电子设计中，准确的建模和仿真是非常重要的。应用人工智能技术时，需要建立准确的模型来描述电路、器件和系统的行为，以用于优化和决策。同时，需要借助仿真工具和算法来验证和评估所设计的模型和方案的性能和可行性。

3.5 物理设计

电子设计自动化：微电子物理设计通常需要完成复杂的物理建模和电路模拟任务，而工业智能可以通过深度学习和优化算法实现自动化设计，减少设计过程中的人工干预，提高设计效率和准确性。

物理参数优化：微电子物理设计中的物理参数配置对于设备的工作性能和稳定性有重大影响，工业智能可以利用深度学习和优化算法自动学习和优化物理参数配置，以达到提高设备工作性能和稳定性的目的。

设备工作预测：微电子物理设计需要考虑制程、环境因素和器件材料等多个因素。工业智能可以通过机器学习 and 深度学习技术，建立设备工作的预测模型，为制造和优化过程提供参考。

3.6 芯片测试与验证

人工智能技术可以在芯片测试和验证过程中发挥重要作用。通过使用机器学习算法，可以帮助设计人员识别良品和次品芯片，加快测试速度和提高测试精度。还可以自动生成测试用例，并根据测试结果进行实时的芯片性能评估和优化。

3.7 故障诊断与修复

人工智能技术可以用于故障诊断和修复微电子器件。通过对大量历史故障数据的学习，可以建立故障模型，并根据实时监测的数据进行故障预测和诊断（见图 5）。同时，可以结合自动化算法快速定位和修复故障，提高设备的可用性和可靠性。



图 5 故障预测和诊断

4 优点

人工智能技术通俗来说，就是利用计算机模拟人类的思维和能力，通过机器的学习，使计算机能够自主性的学习，并且适应环境应用人工智能技术进行微电子的设计与优化，能够极大的简化问题，并且能够给我们人类提供智能的决策和支持，从而给我们提供最优选择，通过大量的数据以及实验，人工智能可以从中进行学习，进而能够更好的处理和应对微电子发展中的问题。

使用人工智能技术可以提升电路设计的效率。人工智能技术能够进行自动化和加速设计过程，通过使用智能算法学习和分析大量的设计数据和经验，发现设计规律和优化策略，从而提高设计的效率和准确性。还可以利用人工智能技术检测电路中可能存在的故障和未知的风险，且能够及时提

供相应的应对措施和解决办法。例如,可以利用神经网络来预测电路性能、功耗等指标,在设计阶段就能够快速评估不同设计方案的优劣。

芯片的设计与开发也是微电子设计与优化过程中不可或缺的部分,人工智能可以改善芯片的处理能力,提供智能化的测试和验证,从而能够很好的提高测试的覆盖率和效率。例如,可以用机器学习算法来分析测试数据,自动发现测试模式和缺陷特征,从而提高测试的准确性和效率。而且也可以利用人工智能模拟神经系统^[6],使芯片的传输速度比普通芯片高百倍。人工智能技术还可以通过优化结构设计、算法以及节省数据传输等方式来降低芯片功耗,从而延长芯片使用寿命。

利用人工智能技术可以对电路系统进行新的建模和改造,寻找最合理的配置分配方案,选择最佳的参数组合,优化能耗,从而延长使用寿命或减少能源消耗。人工智能技术可以实现对微电子设备的能源调度和管理,使用智能算法,根据设备的工作负载和需求合理分配能源,能够有效避免能源浪费,提高能源的利用效率。不仅如此,人工智能技术还可以通过学习和预测设备的工作模式和能源需求来制定更加智能的功耗控制策略。例如,根据设备的工作情况实时调整供电电压和频率,以降低功耗。

5 未来展望

人工智能在微电子领域有相当广阔的前景。人工智能的广泛应用能够很好的提高微电子技术的智能化,并在未来有很好的前景。

人工智能可以通过学习电路设计的规律和优化算法实现自动化的电路设计,这将大大提高电路设计的效率,减少人工干预的时间和成本。人工智能技术可以通过优化算法和搜索方法来寻找最佳的设计方案,通过分析和预测不同设计参数的效果。人工智能可以帮助设计工程师找到最佳的设计参数组合,从而优化设计性能,如功耗、速度、效率、面积等,来提高效率,减少时间。人工智能还可以将多个电路模块集成到一个整体设计中,以实现更高效和更紧凑的电路结构。例如,可以使用深度学习模型对不同的电路模块进行识

别和分类,然后自动组合成最优的集成电路,这便是人工智能在微电子领域最直接的优势体现,并在之后会有很好的发展前景。

人工智能技术还能够有效提高芯片的可靠性。在芯片的设计过程中增加错误检测和纠正功能,使芯片可以自己修复,减少因为操作失误或者系统故障而导致的损失。通过利用机器学习算法和深度神经网络的技术实现语音的识别以及自然语言的处理,使芯片具有更高的智能化程度。人工智能技术同时也可以提高芯片的安全性,并提供更加安全可靠的设计平台。随着人工智能技术的发展,可以将 AI 算法直接集成到芯片中,从而实现更智能的芯片这些芯片可以通过学习和自适应来提高性能,并且可以更好地适应不同的任务和环境。

同时,人工智能在微电子设计方面的应用可以帮助优化电路的能源消耗。未来,随着人工智能技术的不断发展和进步,在电路设计能源消耗方面的前景将会更加广阔。一方面,人工智能可以通过对电路的建模和仿真,迅速地优化电路的结构以及参数,来降低电路的功耗;另一方面,人工智能还可以通过对电路的实时监测,优化电路的运行状态,从而实现更低的能源消耗。例如,可以利用强化学习等技术,可以能够很好的训练智能体对电路进行自适应控制,使得电路在不同工作负载下都能够以最低的能耗进行运行。

参考文献

- [1] 吕琳君.智能优化算法在集成电路设计中的应用研究[D].南京:南京邮电大学,2013.
- [2] 巴京.基于遗传算法的模拟集成电路优化设计[D].南京:南京邮电大学,2016.
- [3] 王谦,张斌,欧阳艾嘉,等.交叉策略粒子群算法[J].西南师范大学学报(自然科学版),2022,47(11):57-62.
- [4] 谢子宣.基于协同优化的粒子群优化算法研究与应用[D].赣州:江西理工大学,2023.
- [5] 李亚萍.模拟集成电路设计与优化方法研究[D].济南:山东大学,2021.
- [6] 张潇.基于神经网络与强化学习的粒子群优化算法研究[D].无锡:江南大学,2022.