

深度信息技术（精品）专辑

第五期

- 人工智能
- 语音识别
- 存储技术
- RISC-V 玄铁处理器
- 医疗影像系统
- 边缘计算操作系统
- IPv6

深度信息技术（精品）专辑（第五期）

- 人工智能
- 语音识别
- 存储技术
- RISC-V 玄铁处理器
- 医疗影像系统
- 边缘计算操作系统
- IPv6

中国开源软件推进联盟（COPU）

二〇二一年十月十八日

目录

■ 人工智能	
陆首群：人工智能向何处去？.....	3
■ 语音识别	
本刊编者：Daniel 与 COPU 讨论语音识别 Kaldi 新版.....	11
编者的话 ¹ ：Daniel Povey 博士简介	14
Daniel Povey：在小米打造新一代 Kaldi.....	15
■ 存储技术	
编者的话：国内存储器技术攻关和量产发展快.....	28
中天弘宇：“二次电子倍增注入浮栅” 原理及应用	29
■ RISC-V 玄铁处理器	
平头哥：基于 RISC-V 的玄铁系列处理器生态建设	45
■ 医疗影像系统	
腾讯医疗健康：腾讯觅影及其应用实践.....	47
■ 边缘计算操作系统	
编者的话：“边缘计算操作系统 EdgerOS” 通过技术鉴定.....	55
翼辉信息：EdgerOS——开放的边缘计算操作系统	56
■ IPv6	
编者的话：再谈 IPv6	70

¹ COPU 编者为陈伟、鞠东颖。

人工智能

人工智能向何处去？

陆首群

2021.9.15

今天，全球人工智能的主体是机器学习/深度学习/增强学习，处于感知阶段的弱人工智能。

我们讨论人工智能的发展，提出“人工智能向何处去？”的课题，即讨论有哪条路径可通向下一代强人工智能？现综述如下：

一、改进、创新、重塑机器学习/深度学习模型和算法，繁荣应用场景；拥抱开源，打破机器学习/深度学习黑盒子实现可解释性，通向下一代强人工智能之路。

今天，机器学习/深度学习仍是一个全球非常活跃的人工智能研究领域，由机器学习/深度学习模型和算法（迄今全球开发了 3000 多种模型、800 多个算法）支持的各种应用场景：图像识别、语音识别、自然语言处理、自动驾驶、新材料研制、新药物研制，以及基因医疗、全新一代抗生素、首架六代机原型等，丰富多彩、特别现实！

机器学习/深度学习是一种强大的数据分析工具，但它也是有缺陷的，它本质上是一项黑盒子技术或盲模型，其运行方式和训练过程不可解释、不可理解、缺乏推理机制，它

还是一种处于感知阶段的弱人工智能。有人说，机器学习/深度学习潜力已尽，其发展已达天花板，今天的人工智能又处于一个低潮期，这种说法是毫无根据的。

去年，人工智能“巨镇”谷歌发表了一份报告：《2020年人工智能10大领域的发展与成就》，他们认为，机器学习/深度学习仍是谷歌今天研发的重点（占其全部人工智能研发项目的70%），他们特别强调，对机器学习/深度学习要加深理解，改进创新，并将继续系统地重塑其算法与模型的基础理论。这对我们思考“人工智能向何处去？”是有参考价值的。拥抱开源，打破机器学习/深度学习黑盒子实现可解释人工智能，尤其是今天我们研发的重中之重！只有拥抱开源，实现了可解释性，才能将机器学习/深度学习从弱人工智能提升到强人工智能的高度。

早在三年前，COPU就在全球率先提出研发可解释性机器学习问题，迄今已汇集全球50多家研究机构在这方面的研究成果。可是，由于可解释性技术（XAI）尚未完全成熟，可解释机器学习的模型和算法的建模和演绎程序尚有不稳定性，最终评估还要靠人工，致使可解释性机器学习/深度学习尚难推广使用，还有待研发完善。但可以预期，在不久的将来，打破机器学习/深度学习黑盒子实现可解释的人工智能，不失为一条通向下一代强人工智能的成功之路。

二、从研发基于异步脉冲神经网络的神经拟态计算系统

出发，期望走上通向下一代强人工智能之路

全球研发异步脉冲神经网络和神经拟态计算系统表现突出的有：

1, 2017 年英特尔发布 Loihi 脉冲神经网络芯片（14nm 制程，按人脑机制，将训练和推理整合到一块芯片上，实现存储与计算融合）每颗芯片 128 个内核，支持 13 万个神经元、1.3 亿个突触。

2019 年 3 月 19 日，将 768 颗芯片集成，组成 Pohoiki Springs 神经拟态网络（由 1 亿个神经元组网），拥有并行性和异步信号传输能力。

随后制成基于 Pohoiki Springs 神经拟态网络的 1 亿神经元的类脑计算机（原型机），比通用计算机运算速度快 1000 倍（最近研制的第二代 Loihi 芯片使运算速度快 10000 倍）、能耗低 10000 倍。组建神经拟态研究开源社区 INRC，与 IBM、HP、MIT、普渡大学、斯坦福大学、浙江大学合作，开发应用场景。主要应用于多模态、实时场景，以及超算应用、非结构化数据实时要求高的场景（如机器人、无人机等需持续学习或自适应学习的场景）。

2, 2006~2016 年曼彻斯特大学研发神经拟态芯片（类脑芯片）并集成组成神经拟态网络，第一代芯片集成的神经拟态网络由 4.6 亿个神经元组成，第二代芯片集成的神经拟态网络由 10 亿个神经元组成。

随后，由曼彻斯特大学、南安普顿大学、剑桥大学、谢菲尔德大学、ARM、Silistix、泰雷兹公司等合作，进行由10亿个神经元组成的集成神经拟态网络。SpinNaker类脑计算机（神经拟态+平行处理）原型机已于2018年11月制成发布。

3，2019年8月，浙江大学发布自主开发的达尔文—2芯片。

每颗芯片576个内核，每个内核支持256个神经元，每颗芯片支持15万个神经元。

2020年9月1日，由浙江大学联合之江实验室发布由792颗芯片集成的神经拟态网络（1.2亿个神经元、300亿个突触组网）基于亿级神经元组成神经拟态网络构建Darwin Mouse类脑计算机（原型机）已制成，功耗为350~500w，运行机制与SpinNaker相同，应用场景正在起步。

总的来说，在全球类脑计算发展还处于初级阶段，未来走向成熟，需要硬件、软件、算法的进步，也需要应用场景的开发配套。可喜的是，今天我们已看到，基于异步脉冲神经网络的神经拟态计算系统向着下一代强人工智能（类脑计算）已开始突破。

三、采取数据、知识双驱动，立足于新知识工程，研发大规模语义网络（知识图谱）以支持实现认知智能，期望以此通向下一代强人工智能之路，目前存在较大难度，原因在

于语义网络中缺乏逻辑推理机制，加上机器难以识别常识这个短板，而攻关难度大，导致语义网络支持不力。

2011年，IBM“沃森(Watson)健康”就开启了以知识、数据双驱动，依靠语义网络的支持，开展医疗人工智能的先河，他们在2011~2017年历时7年，与安德森癌症中心合作，进行人工智能医疗工作，最终以失败告终。鉴于大规模语义网络支持智能医疗不力（无法实现认知智能），IBM曾企图采用“具身(embodiment)”的方式来补充语义网络支持力（算力）之不足，所谓具身，即要求IBM的人工智能科学家与临床医生结合会诊，这招并不顶用，IBM又被迫退而求其次，采用弱人工智能的深度学习技术，又因采集的大数据资源不足，以及没有避开深度学习的缺陷，而宣告IBM的第二招失败。

要打通大规模语义网络支持实现认知智能这条通向下一代强人工智能的路径是全球性研发的课题，过去我一直在讲距成功“还差最后一公里”，前几天在与人工智能语言语音语义大师Daniel Povey讨论时，他认为“何止最后一公里！成功之路还很遥远”。

四、探索如何构建通用人工智能或第三代人工智能

现在有一些人工智能资深专家（甚至大师）提出要探索如何构建通用人工智能或第三代人工智能，他们要对人工智能学科范式及其基础理论进行颠覆性变革。

他们学术思想尽管在细节上各有不同，但其共同点是：

①他们探索的目标，构建通用人工智能或第三代人工智能，不止于构建所谓下一代强人工智能，而是较之更深刻、更深入。

②他们都认为，迄今为止一直存在相互竞争的人工智能范式（有人认为主要是符号主义、连接主义范式，也有人认为还有行为主义范式），这些不同范式（或不同学派）虽然各自取得不少精彩成果，但均存在很大片面性，不可能取得人工智能根本性突破。

③他们提出，构建通用人工智能或第三代人工智能的发展模型是改革、融合、统一不同学派的不同发展范式（有人主张要进行颠覆性变革）的基础上进行和实现的。

④他们探索通用人工智能或第三代人工智能发展之路：
构思→理论研究→原型开发→发展定型（发展安全、可信、可靠和可扩展的人工智能技术和模式）

他们都在路上，有人说他们已跨过了理论研究，进入了原型开发，似乎有些夸张，理论研究尚待进行！

我认为，

①提出构建通用人工智能或第三代人工智能并不能阻止可解释性机器学习/深度学习模式、脉冲神经网络——神经拟态计算系统走向强人工智能的步伐。

②打通大规模语义网络支持实现认知智能进入强人工

智能的途径，也是实现通用人工智能或第三代人工智能必不可少的步骤。

③构建通用人工智能或第三代人工智能，他们现在正在进行理论研究，而要实现其成功之路，还是路漫漫！

语音识别

Daniel 与 COPU 讨论语音识别 Kaldi 新版

本刊编者

9月13日(周一)联盟陆首群主席主持专题会,听取小米集团首席语音科学家 Daniel Povey 关于发布语音识别 Kaldi 新版的报告,并就 Kaldi 及其未来发展远景进行讨论。

陆主席首先指出, Daniel, 你是语音科学大师, 你率领的团队研发的语音识别 Kaldi 最近发布新版, 首先我向你祝贺! 并请你简要介绍 Kaldi 这几年在国内外发行及应用情况, 请你谈一下 Kaldi 与其他语音识别技术相比, 有什么特点和优势? 以及 Kaldi 发展远景是什么?

Daniel 谈, Kaldi 是开源的语音识别工具, 集成了各种语音识别模型, 包括隐马尔可夫和深度学习神经网络, 被认为世界语音识别框架的基石。新版 Kaldi 由 Lhotse (训练数据准备部分, 设计通用灵活的接口, 以适应语音识别、文本转语音等任务, 引入 AudioCuts 概念, 降低数据存储空间)、Icefall (训练脚本集合, 降低用户学习成本)、K2 (新版 Kaldi 核心, 将加权有限状态转换器和相关算法集成到 PyTorch 和 TensorFlow) 三部分组成, 服务于小米的“手机+AIoT 双引擎战略”。

陆问: 据说 Kaldi 识别准确率可达 95%~97%, 是否过

高？

Daniel 认为，准确率与原始数据有关（不同数据有不同准确率）。

陆谈：Kaldi 新版是基于 PyTorch 框架的，PyTorch 创始人 Soumith Chintala 曾指出，2020 年 AI 社区将用更多度量指标衡量 AI 模型的性能，而不仅仅是准确率和原始数据，Kaldi 新版是否也有如此改进？

Daniel 认为，新版 Kaldi 用在小爱云端（服务器端），注重于改进模型性能：多通道、低功耗。

陆问：新版 Kaldi 是否考虑更高效使用 GPU 及如何针对新硬件执行自动编译？

Daniel：太对了！我们考虑使用 GPU 包括与非监督学习。

陆：在此发布 Kaldi 新版之际，请你写一篇文章，在《深度信息技术（精品）专辑》上发表，希望在本周末完成。

Daniel 希望帮助抓好新版落实。

陆说：给你找两个伙伴帮助抓落实：一是小米集团，你们已经做了，要求 Kaldi 新版服务于小米的“手机+AIoT 双引擎战略”语音识别技术，请小米集团副总裁崔宝秋帮助落实！二是建议与 CSDN 合作，请 CSDN 创始人蒋涛（基于程序员资源及搜索引擎）帮助落实（在请你写的文章中 CSDN 就可向你提供搜索资料）。

陆主席谈：我们非常关注大规模语义网络（知识图谱），

目前存在的全球性问题是：在语义网络中缺乏逻辑推理，常识问题是其短板，因此难以支持认知智能的实现，离解决还差最后一公里！

Daniel：恐怕不止最后一公里，离解决的路还遥远。
Kaldi 技术不同于大规模语义网络！

陆：认知计算是用来构建模拟人脑思维过程的系统，是使人工智能进入可理解、可解释的强人工智能的新阶段！

Danie：今后双方可就此交换意见。

Daniel 问：中国开源何时实施？

陆：1991 年我们引进 UNIX！与 AT&T Bell Labs 的 USL / USG 合作，开发、编译 UNIX S5 R4.2 版本，UNIX 是后来的自由软件、开源软件（Minux、Linux、BSD）、甚至 iOS 发展的基础。

编者的话²：Daniel Povey 博士简介

Daniel Povey 是著名的语音识别开源工具 Kaldi 的主要开发者和维护者，被称为是 Kaldi 之父。Kaldi 集成了多种语音识别模型，包括隐马尔可夫和最新的深度学习神经网络，公认是业界语音识别框架的基石。Kaldi 被广泛用于工业界和学术界，几乎所有的语音团队都在使用 Kaldi 引擎来开发智能解决方案，有关于介绍 Kaldi 的论文被引用 3000 多次，Povey 博士的论文也被引用了 30000 多次；他还对语音识别做出了许多科学贡献，包括助力判别训练（现在称为序列训练）的早期发展等。

Daniel Povey 2003 年毕业于剑桥大学，获得语音识别博士学位，后分别加入 IBM 和微软研究院参与计算机语音识别方面的工作；2012 年加入约翰斯·霍普金斯大学，担任语言和语音处理中心副教授；2019 年正式加入小米集团，担任小米集团语音首席科学家，开发新一代 Kaldi。

² COPU 编者陈伟、鞠东颖。

在小米打造新一代 Kaldi

Daniel Povey

自动语音识别 (Automatic speech recognition, ASR) 技术是使人与人、人与机器更顺畅交流的关键技术。在计算机刚兴起不久时，人们就希望机器能理解自然语言，拥有智能。作为实现人工智能不可或缺的一环，语音识别这个研究领域已经活跃了半个多世纪。20 世纪 80 年代至 90 年代是语音产业的一个爆发期，隐马尔可夫模型 (Hidden Markov Model, HMM) 的应用，使大规模连续语音识别成为可能，在进行人机交互时，用户得以摆脱字正腔圆、一词一顿的刻板方式。在过去的十几年间，随着深度学习技术的强势崛起和以 GPU 为代表的算力硬件的出现，语音识别的使用体验又得到了显著的提升。深度学习技术带来的使用体验的提升，使语音技术更多的应用于商用，促成了语音产业和语音数据之间的良性循环，相比传统模型，基于深度学习的语音识别系统能利用持续增长的数据量来提升识别性能，而识别性能的提升，又会激发出更多的产业应用。深度学习介入语音识别以来，语音相关产业发展迅速，产品形态五花八门，随着语音输入、语音搜索、智能助手等产品的出现，一场人机交互的变革正在我们身边发生。

开源生态与 Kaldi 的崛起

虽然深度模型的引入和算力的提升为人工智能注入了新的活力，但与其他 AI 技术相比，自动语音识别技术本身链路复杂、模块多样、领域知识众多，这给语音技术的研究设定了较高的门槛。在语音识别技术的发展过程中，开源软件一直扮演着举足轻重的角色，早年比较有代表性的作品是 HTK 和 Sphinx 这两个工具集。这两个工具集都能够完成从模型的训练到产品原型搭建等一系列工作，20 世纪 90 代开源以来，大大地降低了语音识别和相关领域的研发门槛，并催生了一批以语音识别为核心技术的公司。

而在最近的十年里，Kaldi 开源项目逐步取代了 HTK 和 Sphinx 的统治地位，成为了最流行的开源语音工具包。



起步

Kaldi 项目起源于 2009 年的约翰霍普金斯大学的夏季研讨会 (The Johns Hopkins University Summer Workshop)。那一年夏季研讨会的其中一个主题是 “以低成本的方式构建高质量语音识别 (Low Development Cost, High Quality Speech Recognition for New Languages and Domains)”，Daniel Povey 博士主持了这个研讨会。他想把子空间高斯

混合模型 (Subspace Gaussian Mixture Model, SGMM) 推介给研究者, Kaldi 工具包旨在实现这一想法, 因为要在 HTK 中实现这个想法很困难, 而且当时没有其他通用的语音识别开源软件工具包可以选择。

发展

Kaldi 项目一经发起就吸引了大量研究者的关注, 在 2010 年的研讨会上人们讨论了 Kaldi 作为一个语音工具包的功能, 并开发了自有的训练脚本。2011 年 5 月 14 日, Kaldi 正式发布初版的代码, 从此代码库的开发和维护主要由 Daniel Povey 博士主导, 走上了高速发展的轨道。2011 年研讨会上, 开发了基于 GMM 和 SGMM 的区分性训练。2012 年研讨会上, 乘着深度学习的东风, 开发了基于 nnet1 的区分性训练和 Stacked-bottleneck 网络。2014 年的研讨会上, 研究并完善了神经网络的内部结构和语音置信度分析等内容。2015 年研讨会上, Daniel Povey 博士开始了 Kaldi 中 nnet3 的开发。nnet3 也叫 chain model, 此后数年间一直是语音识别研究和产品化部署的中流砥柱。

特点

Kaldi 作为一个通用的语音工具包, 兼具灵活易用及高效的特点, 它的源代码由 C++ 写成, 并且尽可能实现通用的算法, 避免使用只为特定任务服务的代码。这使得它非常容易复用和扩展, 通过简单修改和重构就可以构建出可产品化

部署的系统。另外，Kaldi 也是非常现代的，里面涵盖最新的语音识别技术，这些最新的算法都以一个个示例脚本（recipe）的形式随 Kaldi 的代码一起发布，人们只要根据示例脚本里的指示，就可以一步一步构建出一个优异的 ASR 系统。当然，Kaldi 得以成为最受欢迎的语音工具包的原因是它的开放性。Kaldi 在开源许可上选择了宽松的 Apache 许可证 2.0 版，这意味着不仅 Kaldi 社区的人们可以参与开发并自由使用 Kaldi 软件，个人、研究机构、甚至商业机构都可以相对自由地利用 Kaldi 进行商业或者非商业的活动。

影响力

过去十年间，人工智能创业风起云涌，语音方向的创业公司如雨后春笋般爆发出来，他们中的多数都基于 Kaldi 来创建自己的语音产品，有些哪怕不是直接使用 Kaldi 软件，也或多或少借鉴了 Kaldi 的代码和设计思想。可以说，Kaldi 的诞生和发展，极大的降低了语音识别的入门门槛，让这一研究领域得以“飞入寻常百姓家”，也间接地催生了这一波人工智能的创业热潮。以小米为例，小爱同学自 2017 年上线至今，累计唤醒次数 726 亿，累计激活设备 2.51 亿台，月活用户数达到 7840 万。而这一切的背后，都离不开小米语音团队依托于 Kaldi 之上打造的全链路语音系统，包括适用于各种场景的不同语音模型，如远近场语音唤醒、离在线语音识别、说话人识别等通用模型，以及口语评测、语种

识别、语音情绪识别等适用于具体场景的特定模型。伴随着小米 AIoT 产品线的扩展，一个又一个的酷炫语音产品相继发布，如 MIUI 声控拍照、千人千面的内容点播、跨设备的声纹追剧、基于童音识别的内容限制等功能，大大方便了普通用户和家庭的生活。

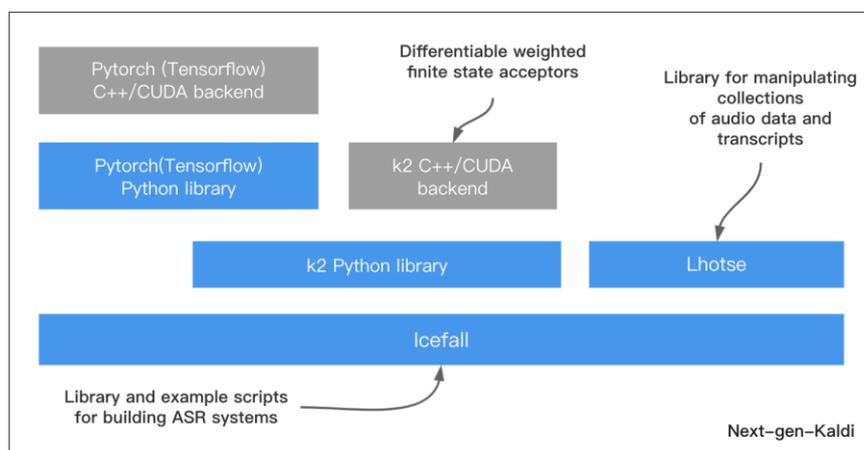
新一代 Kaldi 的诞生



近几年，深度学习及语音识别技术又有了新的进展，端到端语音识别模型逐渐流行起来，准确率也得到了进一步的提升，另外 Pytorch、Tensorflow 等通用的深度学习工具包也逐渐普及起来。Kaldi 使用自有的神经网络架构，无法利用现有深度学习框架的优势快速迭代模型，这使得 Kaldi 难以适应这些新的变化。于是，开发新一代 Kaldi 以适应当前趋势和面向未来发展迫在眉睫。2019 年 Daniel Povey 博士加入小米，成为小米的首席语音科学家，随即开始着手新一代 Kaldi 的部署和研发，经过两年多的探索 and 开发，新一代 Kaldi 的三个子项目 (k2, Lhotse, Icefall) 全面部署完成，并相继发布。Daniel Povey 博士表示：“虽然端到端模型的兴起和 Pytorch 等深度学习框架的流行是开发新一代

Kaldi 的主要动力，但新一代 Kaldi 的目标不仅仅是赶上或者稍微领先现有的语音识别库，而是要根本地改变实现语音识别的方式。”

如下图所示，新一代 Kaldi 包含三个部分，k2 是一个可微分的加权有限状态转换器，是新一代 Kaldi 的核心部分；Lhotse 负责训练数据的准备；Icefall 则是一个训练脚本集合，通过这些训练脚本可以快速构建一个可用的 ASR 系统。新一代 Kaldi 之所以将整个项目分为三个部分，一方面是为了降低耦合性让软件依赖变得简单，方便用户使用。更重要的是，各部分可各自发挥所长，Lhotse 作为数据准备部分，不仅可以用在 Icefall 项目里，也可以用在任意其他语音识别库里来处理音频和文本数据。而 k2 作为序列建模的高效工具包，不仅可以用来做语音识别，也可以用来做手写文字识别等其他任务。相信在不久的将来，随着新一代 Kaldi 的推广和普及，k2 和 Lhotse 都有可能成为语音甚至 NLP 等序列建模领域使用最为广泛的工具包。



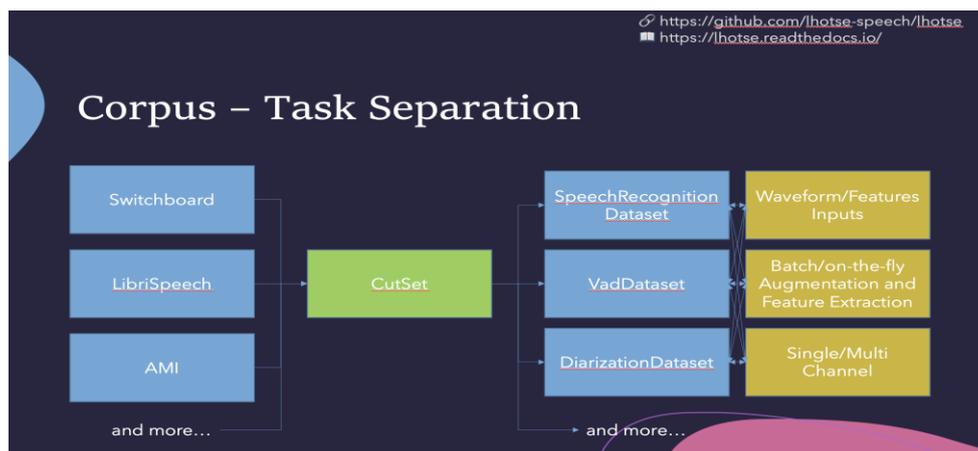
k2

k2 作为新一代 Kaldi 的核心，它的核心贡献在于，将加权有限状态转换器 (Weighted Finite State Transducers, WFST) 和相关算法无缝地集成到基于 Autograd 的机器学习工具包，如 PyTorch (已完成支持) 和 TensorFlow 中。WFST 是语音识别领域最为核心的数据结构，可以用来构建诸如“音标->词->句子”的状态转换概率图。支持 WFST 可导意味着我们可以做很多以前很难做到，甚至做不到的事情，如消除以往语音识别任务中训练跟解码过程不匹配的问题、多轮 (可求导) 的语音识别过程等。k2 的所有 FST 操作都构筑在 Daniel 博士独立提出的多维不规则数据结构 RaggedTensor 上，这些操作从一开始就被设计成可并行的，所以对于 GPU 加速有着天生的优势。k2 还支持在解码图中嵌入任意辅助信息，这些辅助信息都会通过映射关系适配 FST 的各种操作，这使得训练和解码过程中能够利用的信息大大增加了。k2 可以用来很方便地实现很多现有的语音识别模型，如 CTC、LF-MMI、RNN-T 等。值得一提的是，Facebook 在 2020 年发布了类似的项目 gtn，它跟 k2 几乎是同时相互独立地开始开发的。但相比于 gtn，k2 不仅实现了更多的 WFST 相关算法，而且 k2 还高效地支持 GPU (gtn 目前只支持 CPU)。高效的 GPU 实现，使得快速的语音识别训练迭代成为可能，并且也大大加快了解码速度。目前，我们的解码速度已经是实

时的 300 倍左右，而且还在进一步的持续优化中。随着 k2 的完善和产品化落地，整个语音识别全链路 GPU 加速将变得非常简单。

Lhotse

Lhotse 是训练数据准备部分。不同于上一代 Kaldi 大量使用 shell 脚本和 Linux 管道，Lhotse 全部使用 Python 写就，支持 Pytorch Dataset 的 API(如 map-style 的 dataset, 动态 batch size, 分布式训练的支持等)，方便易用。Lhotse 设计了通用又不失灵活性的接口，以适应包括语音识别，文本转语音等多种语音任务。用户更可以基于 Lhotse，来方便地实现针对自己特定任务的接口，来操纵各种不同的音频元数据和文本。Lhotse 还支持多种 IO 和序列化方式（如支持从 HTTP/S3/GCP/Azure URLs 下载音频，支持 JSONL 等）。Lhotse 引入了 Audio Cuts 的概念，将训练数据自动地组织为一组组 Cuts，并基于这种表示，提供了 on-the-fly 的数据混合，裁剪，增强和特征提取等操作，从而在不影响数据处理效率的前提下，降低了数据存储所需空间。此外，Lhotse 还提供了很多公开数据集的数据处理脚本，用户可以直接使用这些脚本，来进行相关语音任务的数据处理工作，这大大降低了用户在某个数据集上进行实验的前期成本。



Icefall

Icefall 是训练脚本集合，同 Lhotse 一样，它也是一个纯 Python 项目。用过 Kaldi 的人都知道，Kaldi 里有大量的基于不同数据集的示例脚本，这大大降低了用户的学习成本。但同时也有一个缺点，就是示例脚本集合太过庞大，代码耦合过于紧密，维护成本较高。考虑到这一点，Icefall 将不再是一个大的脚本集合，而是会在提取公共组件的同时，将不同数据集的示例脚本独立组织，以方便用户的学习和使用。此外，由于将数据准备部分单独放在 Lhotse 项目中，核心计算部分单独放在 k2 中，Icefall 项目只需要关注语音识别模型的结构定义部分，这大大降低了整个语音识别过程的耦合性，也方便了网络结构的复用。

我们不仅在其中展示了如何使用 k2 和 lhotse 来实现现有的各种不同的语音识别模型，如基于 Transformer/Conformer 的 CTC 和 LF-MMI 等，更重要的是，我们着重展示了 k2 何以能从根本上改变人们实现语音识别

的方式：我们实现了多轮解码(multiple pass decoding)的示例，以及我们称之为“双向建模”(bidirectional modeling)的模型。基于深层模型及这种多轮解码的优势，我们可以大大提高语音识别模型的建模能力，从而降低词错误率。截至 2021 年 9 月 1 日，我们已经在 LibriSpeech 数据集上取得了 2.57%的词错误率，而且还在持续的进一步优化。

值得注意的是，这样的建模方式，我们很难使用现有的语音识别框架来完成。而因为我们在 k2 中实现了所有的 FSA 操作的可导性，使得我们可以使用几十行的代码，就可以完成这样复杂的模型结构。这还只是我们实现的可以使用 k2 来做的基本模型示例，用户可以基于 k2 来实现他们自己的各种各样的新想法，如在网络中加入 phone 的 embedding 信息，支持带置信度的识别等。总之，我们希望通过新一代 kaldi，能为语音识别领域打开一扇崭新的大门。

展望新一代 Kaldi

新一代 Kaldi 同上一代 Kaldi 一样，依旧使用高效的 C++ 代码实现，以方便工业界的使用。更重要的是，由于我们将 k2 的 C++代码都（使用 pybind11）包装到了 Python，模型的训练迭代都可以使用纯 Python 代码完成，这大大方便了用户的使用。基于 icefall 中的示例脚本，工程师们可以很容易地基于自己公司产品的数据集进行修改，进而快速地搭

建语音识别系统，这样线上数据反馈和模型迭代更新的流程就大大简化了，这将极大缩短模型更新的周期。除此之外，由于我们也高效的支持 GPU，如果用户或企业基于 GPU 来部署新一代 Kaldi 的模型，也将获得 GPU 对模型(解码)的加速优势，再加上神经网络 GPU Inference 框架的使用，全链路 GPU 加速的语音识别系统将成现实，这将大大提高模型最终的识别速度。

作为一个通用的序列建模工具，新一代 Kaldi 不仅可以提升语音识别的准确率，它的使用和发展也会给其他的序列建模任务带来新的启发。比如，由于 k2 实现了可导的 WFA，基于新一代 Kaldi 构建的语音识别系统就有可能为下游的 NLP 系统提供更加丰富的信息表示，而不仅仅是一个语音识别的结果。人们可以利用这个带有置信度等其他一些信息的词格 (lattice) 来进一步调优 (fine-tuning) 下游的自然语言理解任务，甚至有可能将语音识别和自然语言理解的任务放到一起来训练，实现真正的端到端自然语言理解系统。

相信随着新一代 Kaldi 的全面落地，它对语音识别的改变也将最终影响到普通用户。高效的解码速度和低 WER(词错误率)将为普通老百姓带来更加美好的语音识别产品体验。以小爱同学为例，作为小米“手机×AIoT”战略布局中的一环，小爱同学承担着小米 AIoT 生态中极为重要的角色。作为一款智能生活助手，通过它，用户可以连接到各种各样的

AIoT 设备并与它们产生互动:智能音箱、手机、电视、智能手表、儿童故事机、车载后视镜等。而通过与空气净化器、扫地机器人、电饭煲、台灯、空调等上亿智能家电的连接,小爱同学更可以帮助每个用户打造属于他们自己的整体智能家居体验。借助小爱同学,用户可以通过语音命令小爱音箱播放音乐,可以控制扫地机器人扫地,可以给小孩讲故事……。小爱同学甚至可以主动地学习你的生活模式,在你回家前帮你提前打开空调,在你进门的时候自动打开客厅的灯,在你睡觉的时候拉上窗帘……成为你最贴心的生活助手。随着下一代 Kaldi 在小米产品线的逐步落地,相信在不久的将来,小米将和其他公司一起,为普通用户带来更加完善的 AIoT 产品体验。正如崔宝秋博士在 2020 年举行的 Kaldi 线下交流会中所讲,新一代 Kaldi 项目的诞生和发展将是围绕 Kaldi 的“四赢”局面:Kaldi 项目赢,小米语音赢,全球的 Kaldi 社区赢,所有跟 Kaldi 相关的中小型公司赢!

存储技术

编者的话³：国内存储器技术攻关和量产发展快

目前全球两大类存储芯片主要由美光、三星、海力士和东芝等厂商垄断。国内近年来以长江存储（NAND Flash）、长鑫存储（DRAM）为代表的企业在解决追踪式技术攻关和量产问题方面取得了突破。

中天弘宇历时两年多的时间，探索出了以“二次电子倍增注入浮栅”技术为导向的原创存储技术思路，构建了新的存储芯片底层技术，实现了国内存储器底层技术零的突破。

³ COPU 编者陈伟、鞠东颖。

“二次电子倍增注入浮栅”原理及应用

——CF 系列新型高性能存储器

中天弘宇

传统闪存的现状及瓶颈

自半导体存储技术问世以来，此领域一直被几个国家若干家半导体行业巨头所垄断。美光、三星、海力士、东芝等存储器大厂始终引导着存储器领域技术、产品、市场方向。根据 2019 年的公开数据，目前全球三类主要的存储芯片，其各自的优缺点及市场情况，如下表所示：

主要存储芯片类型	优点	缺点	目前主要应用	2019年市场数据 (亿美金)
DRAM	构造简单、成本较低	易失，断电后消失	系统内存	722
NAND	非易失，写入数量大，价格较低	读取速度慢	SSD、eMMC、USB3.0	455
NOR	非易失、芯片内执行 (XIP, Execute-In-Place)、传输效率很高，读取速度快	价格昂贵、面积大、容量小	BIOS、快速执行算法的场景、嵌入式控制	27.6

NOR 闪存和 NAND 闪存分别由英特尔公司和东芝公司于 1986、1989 年发明，这两种主流非易失存储芯片都有各自非常鲜明的技术特点。NOR 闪存随机读取速度快比 NAND 闪存快数百倍，但成本高，存储密度不大；而 NAND 闪存虽然随机读取速度慢，但成本低，存储密度较大。

自闪存技术发明以来，经过了多次的技术提升，尤其是

NAND 闪存，随着半导体制程设备关键技术最小已达到 10nm 工艺制程的不断改进，NAND 闪存的面积也越来越小，最小记忆单元面积可以达到 $4F^2$ ，成本也不断降低，相同面积记忆单元的存储量也在不断加大，最高已达到 128Gb 以上。

由于智能电子产品的迅猛发展，NAND 闪存在目前在整个闪存市场所占比重也逐渐加大到 90%以上。

而反观 NOR 闪存，由于传统 NOR 闪存在 PGM 时，采用的是传统的热电子注入（CHE）的工作机理，导致一直以来由于无法突破 90nm 栅极长度的技术瓶颈，NOR 闪存的最小记忆单元面积始终无法降低到 $10F^2$ 以下，导致整体存储芯片成本居高不下，NOR 芯片最大存储量也不超过 512M，极大地限制了 NOR 闪存应用场景和应用技术的发展，同时也失去了大部分闪存市场。所以，解决 NOR 闪存栅极不能缩短至 90nm 以下的难题，成为拥有 NOR 闪存核心技术的半导体行业巨头以及各国科学家们多年来一直关注的问题！但遗憾的是，虽然 NOR 闪存技术已诞生超过 30 年，此问题仍然未能得到解决，整个行业的应用和产品仍然运用 NAND 闪存和 DRAM 组合的技术来研发和生产。

嵌入式闪存现状及瓶颈

多年来，嵌入式非易失性闪存在芯片中发挥了关键作用，但该技术正面临着扩展性和成本障碍。

嵌入式闪存可用于多个市场，如汽车，消费和工业等。其中，

汽车行业更为关心该技术的未来。通常而言，汽车中会包含许多微控制器（MCUs），用于执行芯片处理功能（故自动驾驶汽车对数据处理速度和存储记忆多寡有了强烈的要求）。而 MCUs 也会集成基于 NOR 技术的嵌入式非易失性闪存，用于处理代码存储。但是也并不是所有的 MCUs 或处理器都包含嵌入式闪存。现有的芯片已经达不到行业的需求。

现如今，基于 40nm 及以上工艺嵌入式闪存的 MCUs 广泛应用于汽车产业中。另一方面，业界也在加速 28nm 工艺 MCUs 研发，用于仪表组，动力传动系和车辆的其他部件。预计汽车制造商将在未来几年内使用基于 28nm 及以上工艺的 MCUs。

尽管如此，OEMs 仍在权衡下一代产品，这也是他们面临一些潜在障碍的地方。简而言之，随着制程从 40nm 进展到 28nm，原有 NOR Flash 已经出现各种各样的问题，更别提 28nm 以上工艺。对此，Objective Analysis 分析师 Jim Handy 表示：“现在很多微处理器仍采用 130nm 或以上工艺，这也都非常适合嵌入式 NOR 应用，小于 28nm 的 NOR 工艺还没有足够的推动力。”

为了解决这一难题，相关企业也在研发相应解决方案。但是快速增长的辅助驾驶和自动驾驶，正推动企业加快研发进程。目前业内主要以下几方面：

- 嵌入式闪存将扩展到 28nm，甚至可能达到 22nm。一些人正在努力将该技术扩展到 16nm / 14nm，尽管许多

人认为它将在 28nm/22nm 处碰壁；

- 一种选择是扩展嵌入式闪存。在 2016 年 IEDM 的一篇论文中，瑞萨为 16nm/14nm 的 finFET 描述了一种嵌入式闪存技术。使用其现有的电荷陷阱方案，该技术证明了 150 摄氏度的数据保留率。但目前尚未有企业实现。
- 另一种选择是将独立 MCU 和 NOR 器件集成在系统级封装 (SiP) 中。SiP 需要不同的供应链。例如，MCU 供应商会购买 NOR 器件并将其封装在 SiP 中。
- MRAM 是另一种选择。业界正在开发称为“自旋转移力矩磁性随机存储技术 (STT-MRAM)”的下一代 MRAM 技术。STT-MRAM 利用电子自旋的磁性在芯片中提供非挥发性特性。它结合了 SRAM 的速度和闪存的非易失性，几乎无限的耐用性。在传统存储器中，数据存储为电荷。相反，MRAM 使用磁隧道结存储单元作为存储元件。但 MRAM 在高温下的表现和面积等劣势，令人担忧。

除了 MCUs，汽车制造商还使用独立的 NOR 设备，也有不同的架构类型。例如，Silicon Storage Technology (SST) 提供基于浮栅技术的嵌入式闪存。在浮栅架构中，电荷存储在栅极中。此外，赛普拉斯和瑞萨提供基于电荷陷阱技术的 MCUs，其中电荷存储在堆栈的氮化物层中。另一方面，恩智浦和英飞凌也推出了采用不同嵌入式技术的 MCUs。

综上所述，各半导体行业的厂商都在根据应用厂商的需求寻求嵌入式闪存的突破路径。例如，几乎可以肯定的是，以汽车制造商等为代表的厂商很保守。除非符合规范及带来高性价比，否则它们不会移动到新的内存类型。与此同时，OEMs 将尽可能扩展今天的嵌入式闪存。然后，当它耗尽之时，OEMs 必须在各类市场上做出正确的选择。

独立式闪存现状及瓶颈

进入 2018 年，从需求方面看，传统的 NOR Flash 市场不断变化，既有市场机会仍在。过去手机在功能机时代，手机对内存要求不高，NOR Flash 凭借着 NOR+PSRAM 的 XIP (eXecute In Place) 架构得到广泛应用，但到了智能机时代，大量吃内存的 APP 涌现，个人图片、视频也随之消耗内存容量，NOR 的容量小、成本高的缺点就暴露无遗，逐渐被 NAND 取代，市场不断萎缩，三星、美光、赛普拉斯等公司都逐步退出 NOR 市场。但就在各大厂商准备关停 NOR 产线时，NOR 的市场需求发生了变化，最主要的就是 AMOLED 屏幕的普及率不断加速，对 NOR Flash 的需求增加（每块屏幕需要一块 NOR Flash 来做电学补偿）；还有就是 NOR Flash 的热门应用：智能音箱（每个音箱上最小一颗 NOR Flash），市场分析公司 Canalys 的一份智能音箱报告指出，2017 年全球智能音箱销量突破 3000 万台，2018 年全球出货量达到 5630 万台。各种对 NOR Flash 的需求增加，一下子将 NOR Flash 原有存

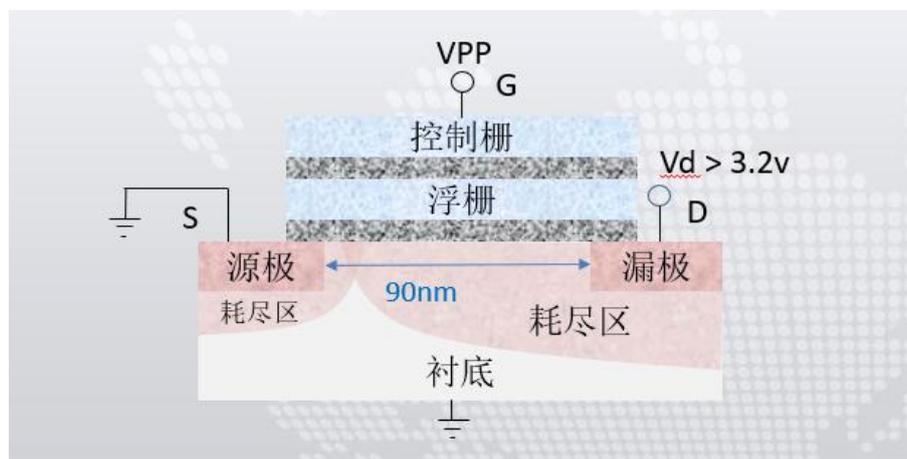
量市场带动起来，导致另外一批厂商，如中国台湾的旺宏、华邦，以及中国大陆的兆易创新等迅速崛起。

即便如此，传统的 NOR Flash 面积大、成本高、容量小的固有缺陷，仍然极大地阻碍了 NOR 的应用推广和使用，只是在无法替换的关键环节（如 BIOS、快速代码执行等）才不得不使用，而这，恰恰是一个机会：谁能解决 NOR 的技术瓶颈，谁就能赢得既有并且拓展这个高密度 Flash 市场！挑战与机遇同在！

新型高性能存储器的创新机理

在开始阐述新型高性能存储器之前，我们先来回顾一下传统的闪存 PGM 的工作原理及其存在的弊端。

传统 NOR Flash 的工作机理及缺陷



上图是传统 NOR Flash 的热电子注入（HCI）的工作机理示意图，HCI 工作机理在短沟道（ $< 90\text{nm}$ ）下，存在两个突出的缺陷：

- 当沟道很短（ $< 90\text{nm}$ ）时，源漏两端耗尽层接触，形成

穿通，这就是著名的短沟道下的穿通效应；

- 穿通效应的存在，限制了 NOR 闪存采用更先进工艺节点，因此，从 2003 年到现在，业内量产的 NOR，沟道长度都在 90nm 以上，这就导致了传统 NOR 的面积都在 $10-12F^2$ 。

新型高性能存储器 PGM 工作原理

中天弘宇集成电路有限责任公司（简称：中天弘宇）运用国际首创、国内自主原创的“二次电子倍增注入浮栅”的物理原理，在不改变原材料构成、工艺实现的条件下，对标传统的动态随机存储器（DRAM）、储存型快闪记忆体（NAND）、编码型快闪记忆体（NOR）等市场主流存储产品，用自主原创的发明成果构造了全新的存储器底层技术体系，形成新型高性能存储器系列产品，属于颠覆性的先进存储技术。

中天弘宇该项发明成果，在半导体存储领域的推广应用，将具有以下突出的优势：

- 1、在传统 DRAM 领域，可达到 NV-DRAM（非易失动态随机存储器）的效果；
- 2、在传统 NAND 领域，可达到提升效率、降低功耗的效果；
- 3、在传统 NOR 领域，可达到降功耗、减面积、低成本、大容量的效果；
- 4、在拓展应用领域，该项存储技术的突破，可同步延

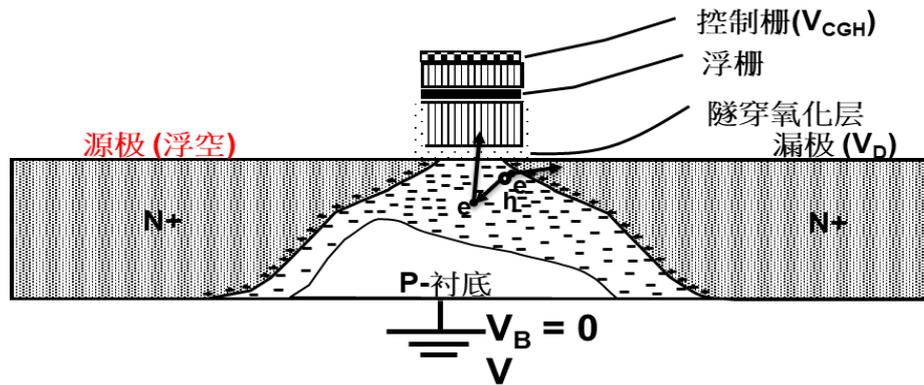
伸应用到各类嵌入式芯片、现场可编程逻辑门阵列（FPGA）、片上系统（SoC）和片上网络（NoC）等领域，在形成自主知识产权的技术路径同时，具备了优化集成电路体系结构、拓宽应用场景、降低产品功耗的效果。

中天弘宇的新型独立式 NOR Flash，在两个方面进行了技术创新：

一：编程机制创新：摒弃传统 NOR 闪存的热电子注入(HCI)编程机制，创新性采用了 CN- CHITEL 的编程机制，在提高电子隧穿效率的同时克服了短沟道穿通难题，重新开启了 NOR 闪存微缩之路；

二：器件结构创新：嵌入式和独立式，可分别以原器件结构为基础，结合创新的“二次电子倍增注入浮栅”的 PGM 机理，对器件结构进行创新，以期达到降功耗、减面积、低成本、大容量的效果。

CN-CHITEL，突破了先进节点短沟道穿通的限制，而是采用了源极浮空-沟道“二次电子倍增注入浮栅”的机制，原理如下图所示：



上图的工作原理如下：

1、首先给漏极加电压，耗尽区中的沟道扩散电子向漏极加速，在漏极附近碰撞出一次电子-空穴对；

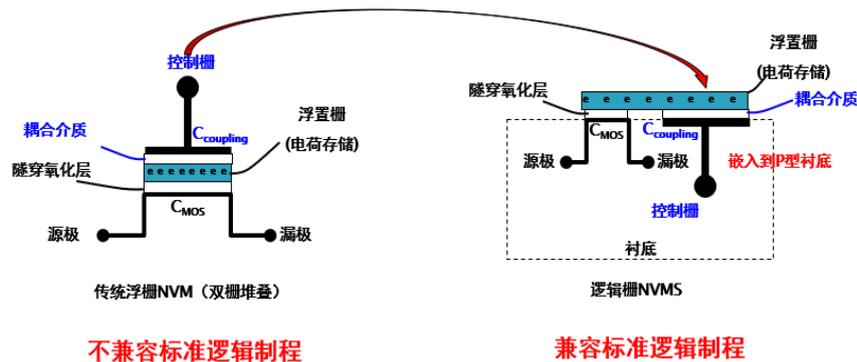
2、然后给控制栅加高压，使得一次空穴在栅极和衬底间的垂直电场中向衬底加速；

3、被加速的空穴，获得较大动能，向衬底移动过程中再次发生碰撞，从而将能量传递给二次电子，获得足够大动能的电子，由于质量小速度高，会穿过氧化层到达浮栅。

说明：该机制下电子隧穿的效率比传统的 HCI（热电子注入）机制高出了 100~1000 倍。

新型高性能存储器-嵌入式器件结构创新

创新的逻辑 NVM 结构示意图，如下图所示：



说明:

- 上图左边为传统的 ETOX NVM 双栅结构图，不兼容标准逻辑制程；
- 上图的右边为创新的 NVM 结构图，可兼容标准逻辑制程。

该项发明成果在华虹宏力 110nm 逻辑工艺节点下的存储单元主要技术指标和传统 ETOX 工艺存储单元对比如下:

	嵌入式存储单元指标	ETOX 存储单元指标
读取速度	20ns @Vg=3.5V, Vd=1V, Vs=Vb=0	40ns @Vg=5V, Vd=1V, Vs=Vb=0
编程速度	10us @Vcg=7.5V, Vd=4.3V, Vs=Float, Vb=0	10us @Vcg>8V, Vd=4V, Vs=Vb=0
编程电流	尖峰电流约为 30uA	尖峰电流约为 150uA
擦除速度	10ms @Vcg=7.5V, Vd=Float, Vs=Vb=-3.5V	10ms @Vcg=-9V, Vd=Float, Vs=Vb=7V
掩膜板层数	16	28

从表格中可以看出，该项目所研发的嵌入式 NOR 存储单元和传统 ETOX 工艺的关键技术指标读取、擦除速度可以相比拟，且操作电压更低，编程电流从传统工艺的 150uA 左右降到 30uA 左右。工艺制造过程所需的掩膜板层数也由传统

的 28 层降为 16 层，可以和逻辑工艺制程兼容，从而使得嵌入式产品制造成本降低。

新型高性能存储器-独立式器件结构创新

独立式闪存可在采用“二次电子倍增注入浮栅”的原理基础上，由于新的器件结构需要 Foundry 厂的工艺开发支持，因此，以下结合工艺制程优化改进，从以下几个方面着手考虑，进行器件结构的创新：

- 缩短沟道栅长：即，进一步缩短源极、漏极之间的栅长长度；
- 优化连接方式：由于 NOR 闪存是并联的，因此，每个接触点所占的面积大概在 30%左右，这也是一个结构上可考虑的优化点。

新型高性能存储器的命名-CF 系列产品定义

中天弘宇运用该项发明成果在新型高性能存储领域重新定义了“CF”系列产品，未来产品衍生规划如下表所示：

CF 存储系列	含义	存储行业现状	新型高性能存储技术特点	比对优势	对标产品或应用范围	举例
T-01	嵌入式产品	1、嵌入式闪存以国外 IP 为主； 2、全球嵌入式闪存尚未突破 28nm 以下； 3、车规级应用需求量剧增，传统技术难以满足；	自主、创新的工作机理+独创的折叠栅器件结构，达到减面积、降低成本、低功耗的效果	1、自主可控、面积减少 10-30%、功耗大幅降低 50% 2、具备突破 28nm 以下世界性难题的条件	现有的嵌入式 IP，全球尚未突破 28nm 及以下	SST 的嵌入式闪存 IP、EPROM

T-02	独立式产品	1、现有独立式闪存面积大、容量小、成本高、功耗大； 2、受制于传统工作机理（CHE），栅极长度无法随先进制程微缩； 3、应用场景受限；	自主、创新的工作机理+优化器件结构，达到减面积、降成本、低功耗、大容量的效果	自主可控、面积减少10-30%、成本降低10-30%、功耗大幅降低50%、存储容量持续提升（>1Gb）、拓展应用场景、产业化效应明显	独立式 NOR Flash，全球单 Chip 尚未突破 1Gb	旺宏、兆易创新等现有的独立式 NOR Flash 产品
T-03	覆盖存储系列产品	1、现有 NAND Flash，PGM 效率低，功耗高； 2、现有 DRAM 机理，易失，掉电后无法保存最后状态信息；	用新型工作机理，改进、优化现有存储产品，达到提升效率、降低功耗、高性价比的效果	自主可控、存储效率提升 10 倍以上、功耗降低 50%	现有的主流存储系列产品，涵盖现有内存、固态硬盘等主流系列产品	如：NAND Flash、NOR Flash、NV-DRAM
T-04	运用延伸产品	1、现有电子产品采用的是国外授权专利和技术，存在卡脖子风险； 2、现有电子产品采用的工作机理，存在容量小、效率低、功耗高的缺陷；	用新型高性能非易失闪存技术，改进现有电子产品中存储器件，达到大容量、非易失、降功耗、自主可控的效果，如改造成 NV-FPGA	自主可控、功耗降低、存算一体优势明显、拓展应用场景、产业化效应明显	将新型独立式、嵌入式闪存运用于电子产品中	如：SoC、FPGA、AI 等，使用到存储产品或 IP
T-05	总和，整个趋势，覆盖整个集成电路行业	现有电子产品由于国外授权、核心技术无法掌握等原因，在采用更先进工艺、更先进封装技术等环节，存在技术瓶颈	以自主可控的原创发明为契机，延伸到制造、先进封装等产业链环节，提升整个产业效能	自主可控、拓展应用场景、大幅提升终端产品性价比	从设计延伸到制造、先进封装、应用等整个产业链	IDM 模式，自建生产线、尤其是运用先进的封装技术，提升产品性价比，拓展应用

CF 系列之-T-01：嵌入式产品

CF 系列之 T-01：新型高性能嵌入式闪存，从技术角度上的特点是：

- 改变了传统嵌入式闪存的工作机理；
- 改变了传统嵌入式闪存的器件结构。

目前不需要改变的是：

- 不增加新的原材料；
- 在标准逻辑制程工艺线上，进行局部优化即可实现。

因此，CFT-01 的新型高性能嵌入式闪存是尽可能结合现有嵌入式闪存的积累和工艺实现方式，为全球嵌入式闪存未来的技术发展方向，提供了一条独辟蹊径的、切实可行的技术路线。

CFT-01 嵌入式产品可首先在现有成熟逻辑工艺制程上量产，之后可向 28nm 及以下开展研发工作（目前全球嵌入式闪存尚未突破 28nm），并结合先进工艺及新型材料的研发，进一步发挥 CFT-01 的原理和结构优势，提供高性能产品。

CF 系列之-T-02：独立式产品

CF 系列之-T-02：新型高性能独立式产品，从技术角度上的特点是：

- 改变了传统独立式闪存 PGM 的工作机理；
- 优化传统闪存：在独创的 PGM 机理基础上，首先可结合传统器件结构、传统工艺，实现对传统闪存的优化

改造，达到缩栅长、降面积、小成本、低功耗的效果；

- 重构传统闪存：在独创的 PGM 机理基础上，对器件栅长进一步微缩，结合先进工艺制程，与工艺开发同步，重构传统闪存的器件结构，达到低功耗、减面积、低成本、大容量的效果，极大地拓宽应用场景。

CF 系列之-T-03：覆盖存储系列产品

新型高性能存储器的 PGM 原理，本质上给具有浮栅结构的闪存，提供了一种更高效地将电子注入浮栅的方式方法，而且，达到了“倍增”的效应。因此，凡是具有浮栅结构的闪存，都可以采用这种原理，将电子按此种方式高效、可控地注入浮栅，所以，具有浮栅结构的 NAND、DRAM，都可以采用此种原理进行改造和重构，具体而言：

- 运用于现有 NAND Flash：将 NAND Flash 原有的 PGM 电子隧穿(FN)机制改成二次电子倍增注入浮栅机制，可达到提升效率、降低功耗的效果；
- 运用于现有 DRAM：现有 DRAM 机理，易失，掉电后无法保存最后状态信息，结合新型高性能存储器，可将原 DRAM 改造成 NV-DRAM(非易失 DRAM)，达到掉电时，可保存最后状态的效果，可极大地提升应用产品的性能和友好性。

CF 系列之-T-04：运用延伸产品

CF 系列之 T-01、T-02、T-03 产品，均属于基础、通用

型的存储器件，为各类电子产品提供存储数据、代码的基础构件，在此基础上，CFT-04 产品，可延伸运用于各类电子信息产品中，如：

- 用新型高性能非易失闪存技术，改进现有电子产品中存储器件，如 SoC、MCU 等达到大容量、非易失、低功耗、自主可控的效果；
- 用新型高性能非易失闪存技术，可改造 FPGA，重构软硬件架构，形成 NV-FPGA，达到换道超车的效果；
- 用新型高性能非易失闪存技术，在突破大容量的基础上（如 NOR Flash 单 Chip 突破 1Gb 以上），可产生大量的新的应用场景和应用方式；
- 达到自主可控、功耗降低、存算一体优势明显、拓展应用场景、产业化效应明显。

CF 系列之-T-05：总和、整个趋势

由于存储器是整个集成电路行业不可或缺的基础构建之一，因此，CFT-05 系列产品延伸到整个产业，具有如下优势：

- 以自主可控的原创发明为契机，延伸到制造、先进封装等产业链环节，提升整个产业效能。
- 自主可控、拓展应用场景、大幅提升终端产品性价比。
- IDM 模式，从设计延伸到制造、先进封装、应用等整个产业链。

RISC-V 玄铁处理器

基于 RISC-V 的玄铁系列处理器生态建设

平头哥半导体有限公司

玄铁 910 是目前基于 RISC-V 最强的开源处理器，采用 3 发射 8 执行的复杂乱序执行架构，单核性能达到 7.1Coremark / MHZ，主频达到 2.5GHZ，可用于设计制造高性能端上芯片，可应用于 5G、人工智能及自动驾驶等领域。

此外，通过“普惠芯片”计划，未来将全面开放玄铁 910 IP Core，全球开发者可以免费下载该处理器的 FPGA 代码，快速开展芯片原型设计和架构创新等。

本刊编辑问平头哥：玄铁 910 是否可用于手机？

平头哥回复：玄铁 910 从性能上是可以用于手机的，目前 RISC-V 软件生态正在完善中，可为玄铁 910 应用于手机创造条件。

医疗影像系统

腾讯觅影及其应用实践

腾讯医疗健康

腾讯医疗健康（深圳）有限公司（以下简称腾讯医疗健康）成立于 2016 年，是腾讯公司旗下专注医疗健康业务的团队，致力于为医疗健康行业提供“数字接口”和“数字工具箱”，促进医疗资源和服务能力的平衡发展，助推产业升级。

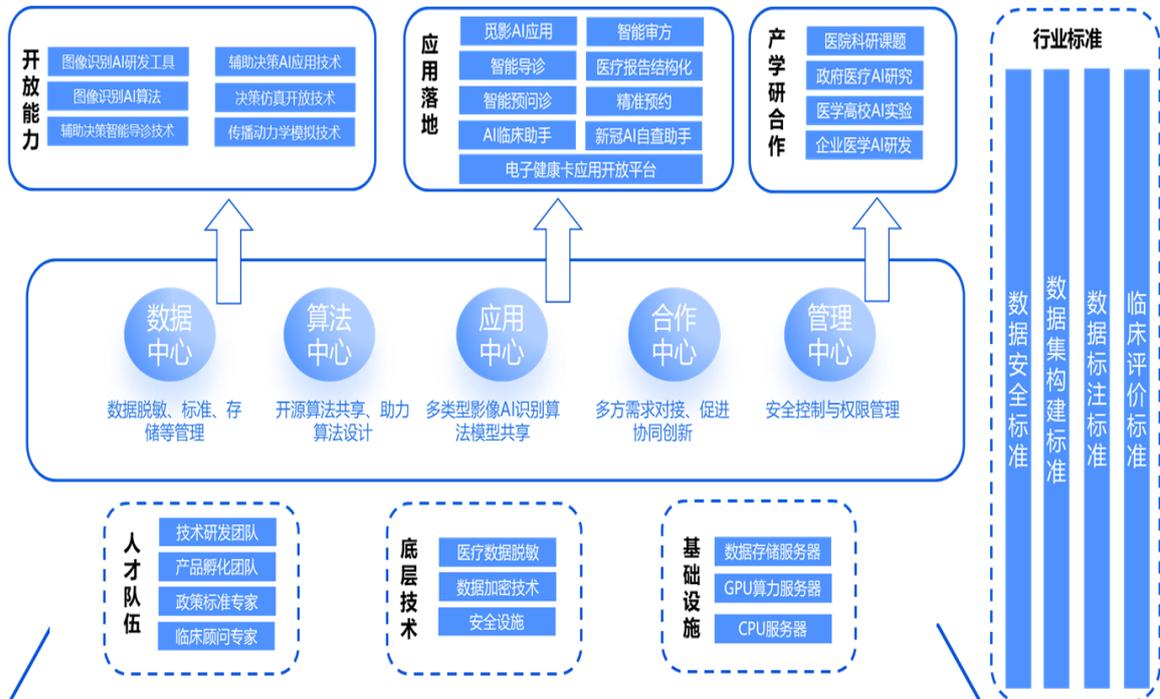
依托腾讯多年的人工智能、互联网、云计算、大数据技术和经验，腾讯医疗健康在 2017 正式发布了首款将人工智能技术运用在医学领域的 AI 产品-腾讯觅影，该产品将人工智能技术与医学跨界融合，能够辅助医生进行疾病筛查和诊断，提升临床医生诊断效率。其中亮点产品包括：基于 CT 影像的新冠肺炎 AI 辅助诊断、AI 导辅诊系统等，基于腾讯在医疗 AI 领域的不断深耕探索，2017 年 11 月，科技部公布首批国家新一代人工智能开放创新平台名单，并明确依托腾讯公司建设医疗影像国家新一代人工智能开放创新平台。2018 年，广东省科技厅发布首批广东省新一代人工智能开放创新平台，宣布依托腾讯建设“智慧医疗广东省新一代人工智能开放创新平台”

为了更好的完成平台建设任务，加快落实国家《新一代

人工智能发展规划》，腾讯觅影更加致力于满足不同机构的需求，化解医学人工智能研发所遇到的问题，打造面向行业的、一体化的、规范化的开放平台。为医疗行业提供基础性人工智能服务，建立行业生态体系和技术标准。目前平台已取得了大量可喜成果。

一、平台架构及功能

平台建立了 IaaS-PaaS-SaaS 全方位的体系结构，从而达到全方位的服务客户、服务企业、赋能行业的目的。



平台集成了腾讯觅影研发过程的所有优势能力，设计涵盖了五大要素，包括数据中心、算法中心、应用中心、合作中心、管理中心。数据中心集数据上传、脱敏、存储、标注、及标注结果下载等功能于一体，使数据管理更加高效。算法

中心支持拖拉拽积木式算法设计，支持影像组学和常用深度学习算法网络，支持算法研究机构接入自研算法，让算法设计变得更加简单。应用中心集成了多类型影像 AI 识别算法模型，为行业赋能开源。合作中心为医疗机构、科研院校、科创企业提供了需求对接的平台，促进协同创新。管理中心配备强大的安全及权限管理，所有增加、删除、修改、分享、使用、下载等操作，均有权限管控和严密日志记录。

二、资源整合

人才方面，平台汇聚了医疗 AI 行业的全方位人才超过 400 人，其中包括技术研发团队、产品孵化团队、政策标准专家、临床顾问专家。

技术研发团队作为整个平台的核心智慧输出，汇聚了 AI 科学家 20 余名以及大量海归博士，多名行业顶尖人才作为学术带头人被引进，其中包括美国医学与生物工程学会会士郑冶枫博士，郑博士于 2005 年获得美国马里兰大学电机与计算机工程系博士学位，主要研究智能手写文本图像识别，曾任西门子美国研究院首席专家，医疗 AI 顶会 MICCAI 2021 年的大会联合主席，并多次担任其他 AI 顶会的领域主席，共计发表论文 150 篇，被引用 6000 多次，h-index 指数 42，拥有美国发明专利 70 项，撰写专著 2 部，参编专著 1 部。韩骁博士，美国约翰霍普金斯大学（The Johns Hopkins University）电子与计算机工程系硕士和博士、哈佛医学院

博士后。主要研究方向为医学图像处理以及机器学习、深度学习在医疗领域的应用。在美国医科达公司任职期间负责过放疗领域多项医疗影像相关产品研发，包括自动器官及靶区勾画、多模态图像非线性配准、CBCT 图像重建和修复、以及自动化三维剂量预测等。加入腾讯以来主要负责人工智能技术在医疗领域尤其是病理行业的算法开发和应用落地。在行业顶尖杂志和会议上发表论文 60 余篇，被引用 5000 多次，h-index 指数达到 30。获得已授权美国国家技术专利 30 多项以及中国国家专利 10 余项。于 2019 年入选深圳市“孔雀计划”A 类人才，并于 2021 年 5 月获得广东省人社厅颁发的计算机科学与技术专业正高级研究员职称。

平台借鉴腾讯强大的产品开发经验，加强产品孵化团队实力，其中应用工程师达 30 名以上，其中腾讯觅影总经理、腾讯医疗技术委员会主任钱天翼博士作为平台负责人全面负责平台建设工作，钱天翼博士为科技部重大专项“医学影像开放创新平台建设项目”首席科学家，全国人工智能医疗器械标准化技术归口单位专家组成员，IEEE 医疗 AI 标准组专家，中国医学装备人工智能联盟影像委员会委员，中国生物医学工程学会医学影像人工智能分会委员，中国阿尔茨海默病防治学会理事，中国针灸学会脑科学产学研创新联盟理事。在国内多所大学及研究机构担任研究生校外导师及特聘研究员。在国内外知名学术期刊以及会议发表论文 150 余篇。

同时担任多本国际学术期刊的审稿人。同时平台一直与行业内医疗专家、标准专家保持紧密合作，使平台输出更具权威性、更贴近临床真实需求。

众所周知，在 AI 赋能的跨界领域，尤其是 AI+医疗健康行业，人才储备不足、人才供需不平衡、新兴交叉领域人才短缺、跨学科专业人才梯队建设不完备等问题尤为明显，目前基于平台培养的人才已达近百名，为解决行业的人才困境提供了一个有效的路径。

在底层技术和基础设施方面，腾讯拥有丰富的云计算经验和中国最大的云计算平台，拥有海量数据存储与服务运营技术能力，能够很好支持平台发展，针对医疗业务的特殊性，平台运用医疗数据脱敏技术、数据加密技术等保障数据安全。

三、开放共享

基于以上的功能设置，平台输出了强大的开放能力，其中包括图像识别 AI 研发工具、图像识别 AI 算法、辅助决策智能导诊技术等；开原算法均已在 GitHub 上共享，供用户查询使用。平台同时又将 AI 产品进行应用落地，构建了行业内产学研全周期闭环，属行业唯一。其中一个代表性案例：新冠 AI 自查引擎是一个全球开源的智能对话引擎，开源地址：

https://github.com/Tencent/TH_COVID19_International/tree/master/src/servers/COVID-19-self-triage。该引

擎通过自然语言技术理解政府官方指南，结合自研的呼吸科疾病知识图谱，利用多轮交互对话系统采集用户流行病学史、症状等信息，判断用户感染新冠肺炎的风险。引擎已服务 17 个省区市 40 个卫健和疾控部门，300 余家医院，30 余家行业 ISV 合作伙伴。

四、创新协同构建行业生态体系

医疗 AI 研究涉及临床医疗、数据科学、统计学、信息管理学等领域，需要相关人才以合作形式完成数据分析、发掘价值从而为临床医学服务，然而医院、高校、企业各方需求无法对接临床，产品孵化难上加难，平台的合作中心大大加速了产学研一体化互联合作，让医疗 AI 成果“从实验室到病床旁”。向上对接应用开发者，向下发展基础软硬件，实现应用与平台技术的双向反哺。

五、推动行业标准建立

平台参与国内多项行业团体标准建立，其中参与发布了《健康医疗大数据应用服务能力可信选型评估方法：第 1 部分 临床辅助决策大数据平台》、《健康医疗大数据应用服务能力可信选型评估方法：第 3 部分 临床科研大数据平台》、《医疗云可信选型评估方法第 11 部分：智能影像云》；与国际标准化组织（ITU-4H）合作，提交两项提案，涵盖平台开放标准与接口标准内容；制定影像云渗透测试企业标准等。

六、重点案例

平台孵化的 AI 产品-基于 CT 影像的新冠肺炎 AI 辅助诊断在新冠疫情期间发挥了重大作用，已通过国家食药监三类医疗器械审批，并入选“科技战疫 2020 中国数字化转型成功案例”。该产品实现患者 CT 检查后 2 秒完成 AI 模式识别、1 分钟内为医生提供辅助诊断参考，帮助武汉大学中南医院医学影像科在两个月内累计为 24000 多名患者进行了肺部 CT 诊断工作。有效缓解抗疫一线 CT 筛查能力不足的压力，降低交叉感染的风险。联合中南医院医学影像科徐海波教授团队开发新一代新冠肺炎 CT 人工智能诊断系统，通过利用 5G 无线网络连接影像设备，搭载影像设备提供远程阅片诊断、远程影像诊断中心平台和区域医疗资源协同，使不同医院的影像检查设备与远程专家之间互联，实现影像及诊断报告跨医院自动传输，大幅提升基层医院的准确诊断率和效率。

边缘计算操作系统

编者的话⁴：

“边缘计算操作系统 EdgerOS” 通过技术鉴定

2021 年 9 月 29 日，中国开源软件推进联盟组织对北京翼辉信息技术有限公司研发的“边缘计算操作系统 EdgerOS”进行了技术鉴定。

中国开源软件推进联盟名誉主席陆首群、中国工程院院士倪光南、中国工程院院士郑纬民、中国开源软件推进联盟副主席兼秘书长刘澎、小米集团副总裁崔宝秋、中国联通研究院工业互联网分院首席科学家周晓龙、中科创达软件股份有限公司副董事长兼 CTO 邹鹏程、清华大学计算机系副教授陈渝、中国开源软件推进联盟常务副秘书长梁志辉、中国开源软件推进联盟副秘书长宋可为、鞠东颖等知名专家学者、翼辉信息创始人韩辉及其团队成员参加了本次会议。

鉴定委员听取了技术报告，项目现场演示，审查了技术文档，用户手册等鉴定资料，经质询和讨论，同意“边缘计算操作系统 EdgerOS”通过技术鉴定。

⁴ COPU 编者为陈伟、鞠东颖。

EdgerOS——开放的边缘计算操作系统

翼辉信息

一、物联网产业现状与痛点

物联网产业的近 10 年发展非常迅猛，专家认为主要是 4 个方面在正向推动产业发展：

第一是硬件成本不断下降，随着规模经济效益和中国制造红利等因素，近几年上游模组等价格下降幅度明显，平均超过 50%以上（有的甚至高达 90%）。

第二是基础设施不断完善。在国家统一规划下，我国基站规模建设、网络覆盖程度均是世界第一。

第三是物联网技术不断完善。物联网相关的硬件性能不断提升，5G 的 R16 标准的冻结以及 NB-IoT 技术倍纳入 5G 范围，物联网从技术层面不断精进。

第四是用户体验明显提升，需求逐步释放。产品智能化/网联化趋势蔓延，在各物联网场景，智能设备/网络连接使用体验明显提升，带动更多物联网需求被释放。

在这些因素的推动下，物联网产业不断快速发展，无限接近产业发展的爆发期。

但产业发展依然低于行业预期，2010 年，爱立信、IBM、思科、Gartner 普遍预测至 2020 年全球将有 500 亿台联网的物联网设备，真实情况是只有 120 亿的联网设备，与

预测目标相差接近五倍，这里面主要制约因素有以下几个方面。

第一是产业碎片化严重，物联网赋能不同行业转型升级，但是应用场景和需求碎片化导致物联网终端异构、网络通信方式多样，难以形成规模效应。

第二是软硬件解耦工作量巨大，目前物联网设备和软件耦合严重，物联网统一标准的道路还存在着大量“解耦”工作，需要通过不同层面的操作系统，将硬件相对标准化，完成硬件和软件的解耦，相关工作量巨大。

第三是互不兼容。物联网行业各种平台林立，不同厂家设备和产品之间互联互通和互操作性极差，导致物联网应用体验差，推广受阻，渗透率长期停滞。

第四是研发成本居高不下，物联网产业链上下游企业需要独立开发硬件、软件、系统等等，成本非常高，单个 SKU 的软件开发、系统集成的研发成本至少需要 150 万以上。

此外巨头垄断，竞争不足；商业模式不清晰，应用开发陷入困局。当前物联网应用开发基本都是设备厂商自行开发，开发硬件的人往往不擅长开发应用，存在大量低水平重复的现象，能够覆盖的场景非常有限，同时大量的第三方开发者很难参与进来，结合硬件特点进行场景应用开发，物联网软件应用行业整体陷入僵局。

总体来看，各方对物联网产业未来期望极高，但产业依

然困难重重，需要有新的技术突破和模式创新，找到真正可落地的技术路径和应用模式，不然“万物互联”依旧是“水中月，镜中花”。

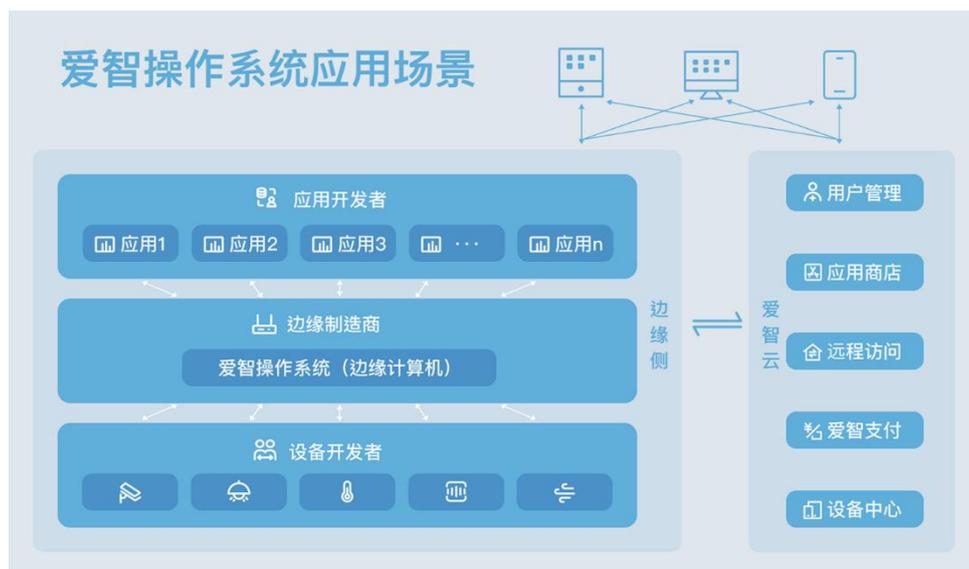
二、爱智操作系统介绍

在翼辉信息，我们一方面看到了物联网产业发展的美好前景，同时也看到了困扰产业发展的这一系列问题，因为翼辉所具有的操作系统基因，从 2018 年开始，经过接近三年的内部研发和孵化，终于在 2021 年正式推出了 EdgerOS - 爱智操作系统。

爱智操作系统是一款打造开放的物联网世界的智能操作系统。

爱智操作系统是一款面向“万物互联”时代的边缘计算操作系统，主要部署在应用场景边缘侧，靠近用户业务数据源头，联合物联网产业链上下游，提供近端边缘计算服务，满足行业在低时延、高带宽、安全与隐私保护等方面需求。

爱智操作系统的具体应用场景如下图所示。

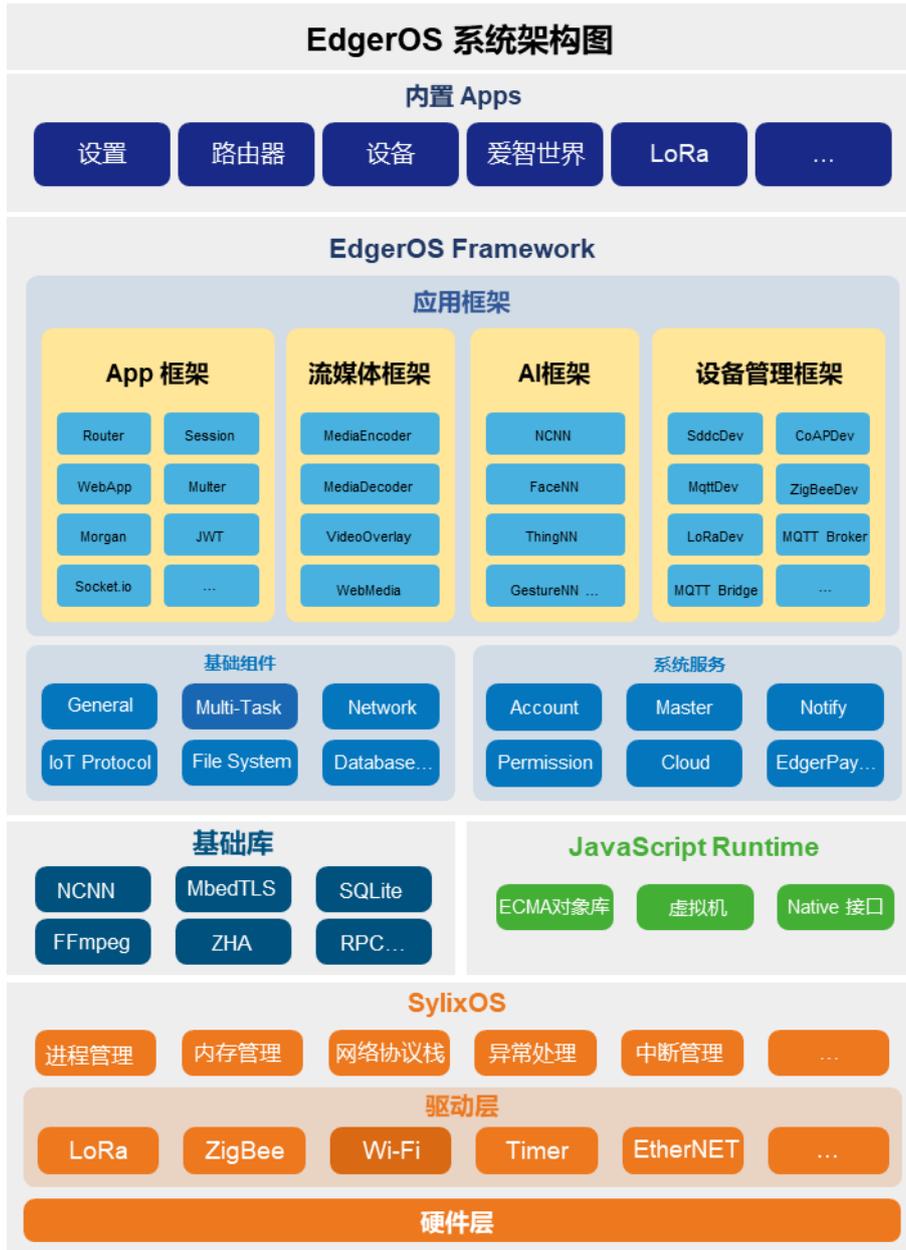


爱智操作系统运行在物联网场景边缘侧的边缘计算机上，不同于传统的物联网网关，边缘计算机能够为用户提供更加完善的算力动态分配、异构网络连接、权限管理、应用分发、动态设备接入、人工智能和安全保护等边缘服务。通过爱智操作系统提供的抽象能力和标准接口，应用开发和设备开发彻底解耦，设备开发者只需要开发设备，把设备通过标准或者私有协议接入爱智系统，设备能力通过爱智系统的标准接口暴露给上层应用，不需要关心上层应用是如何开发的；同样应用开发者只需要通过系统接口把设备的各种功能和应用场景完美结合，而不需要关心设备开发的各种细节。这样就实现了设备开发和应用开发的产业分工与协作，设备开发者和应用开发者可以来自不同的组织或者团队，互相不认识。这样不仅可以提高开发效率，降低研发成本，设备和应用也可以任意组合，打破互不兼容的怪圈，解决碎片化问题，为最终用户提供更加丰富的场景和更加优异的体验。爱

智的客户端可以是任何品牌的智能手机、平板甚至电脑，能够兼容 iOS，安卓等移动操作系统和 Windows，Linux 等桌面操作系统，让手机、平板和电脑成为爱智的显示器。

此外，爱智操作系统作为一个开放的物联网平台，还为开发者和用户提供了爱智云服务，爱智云能够为爱智系统用户提供统一的身份认证和管理、设备管理和远程访问、应用商店、开发者审核与认证、爱智支付、应用上传与审核、设备开放平台等功能，为最终用户和软硬件开发者提供了丰富的服务。其中设备开放平台可以让设备开发者把自己的设备协议开放给广大的应用开发者，让自己的智能设备被更多的应用和场景集成，为更多的用户服务，提升设备的使用体验，爱智云是爱智操作系统不可缺少的一部分。

那么爱智是通过什么样的技术架构来实现这些功能和愿景？下面让我们通过爱智操作系统的架构图来深入了解。



首先，爱智操作系统的最底层是整个系统的内核，这个内核来自我们自主知识产权的嵌入式实时操作系统 SylixOS，SylixOS 内核不仅具备操作系统必备的进程管理，内存管理，中断管理等底层功能，同时提供了对 WiFi、ZigBee、LoRa 等物联网协议的广泛支持。

内核之上，我们打造了一个高性能的 JavaScript 运行

时引擎，有了这个引擎，爱智操作系统成功的打通了互联网和物联网技术栈，广大开发者可以使用熟悉的 JavaScript 和 TypeScript 编程语言来开发物联网和人工智能等应用，极大降低了物联网应用开发难度和研发成本，提升了用户体验。

同时，我们为爱智操作系统开发了功能丰富的基础库，包含神经网络、图像和流媒体编码、加密、数据存储等众多基本系统功能，为上层的框架和应用开发提供了坚实的支撑。

在基础库和 JavaScript 引擎之上，是爱智操作系统的核心框架。其中系统服务包含用户管理、系统桌面、通知、权限管理、支付等诸多应用开发必须的服务；基础组件则包含多任务管理、网络、物联网协议、文件系统、数据库等基础功能。

基础组件和系统服务之上，是功能丰富的爱智应用框架。App 框架能够为应用开发者提供用户界面路由、Session 会话管理、Socket 网络长连接等应用开发必须的功能；流媒体框架则封装了图像和音视频的编码和解码等功能，开发者几行代码就可以实现视频直播和监控等功能；AI 框架封装了开发者常用的人脸识别，物体识别，车牌识别和手势识别等功能，对于开发者来说开箱即用，非常简单；设备管理框架则把不同协议设备的发现和连接等管理功能做了高度的抽象和封装，开发者不需要关心底层设备的技术细节，只需

要简单的创建一个设备对象，就能够实现以前需要大量代码才能实现的功能。

有了这些框架、组件和系统服务，爱智操作系统把物联网设备管理和通信协议等功能做了高度抽象和封装，实现了设备开发和应用开发的解耦，设备开发者只需要通过公开协议或者私有协议接入爱智操作系统，设备的发现、连接、管理和功能就能够爱智操作系统的标准接口为上层应用开发者所用。

爱智操作系统的最上层为用户提供了一些内置应用，可以对系统的设置，用户账号，路由器设置，设备等进行管理，同时也可以通过爱智操作系统的应用商店 - 爱智世界下载或者购买自己所需要的应用。

三、 爱智操作系统特点

爱智操作系统具有很多独有的特点和优势。

首先，爱智是国内为数不多拥有自主知识产权内核的物联网操作系统，自主内核给爱智带来了强大的演进能力，我们可以从内核开始，对整个系统的能力进行深度的整合和优化，不断提升系统能力，不需要因为内核的限制而限制系统的能力，或者通过间接的方法来解决系统问题，随着系统的不断演进，爱智会变得越来越强大，越来越高效，越来越安全，越来越友好。

其次，爱智极大的简化了物联网应用的开发难度，降低

了开发门槛。一方面，因为内置了 JavaScript 运行时引擎，开发者可以使用简单高效、易学易用的 JavaScript 和 TypeScript 等互联网技术栈来开发物联网应用；另一方面，爱智操作系统对底层的设备发现、连接和管理，对物联网协议等复杂技术做了高度的抽象和封装，并且开放了自研的智能设备发现协议 SDDC 和 ZDDC，开发者无需关系底层实现细节，可以把更多精力专注在业务逻辑和用户体验上。同时，爱智内置了开发者常用的众多人工智能接口，开发者不需要了解底层的算法，也不需要模型进行训练，就可以使用爱智提供的人工智能接口为最终用户提供智能应用。

第三，爱智操作系统是一个开放的平台，我们不限定智能设备的厂家或者品牌，也不要求设备只能使用特定的协议或者应用，设备和应用可以随机组合，打破设备和应用的绑定关系，把设备和应用彻底解耦。从某种意义上来说，这样做能够带来全新的生产关系，给市场带来充分的竞争，促进整个产业的繁荣和进步。

此外，爱智云能够提供用户无需配置，便可以随时远程访问的极致体验。开发者不需要添加任何代码，消费者也不需要进行任何复杂的配置，就可以利用爱智云提供的漫游能力，随时随地通过互联网访问自己的爱智系统和与之相连接的各种设备，真正做到随心访问。同时也给开发者提供了更大的想象能力，开发者能够结合网络、位置等信息，为消费

者开发出更方便，更智能的场景化应用。

最后，爱智操作系统从设计之初，就把安全和隐私保护作为核心需求之一来考虑。从内核的安全文件系统，数字签名，到应用的沙箱体系，本地和远程的加密网络连接，爱智对消费者的数据安全做到了全方位的保护。

接下来我们详细了解一下爱智开放平台和安全无忧这两个突出特点。

● 开放平台

为了实现爱智操作系统“打造一个开放的智能物联世界”的愿景，我们把爱智操作系统打造成了一个开放的物联网平台。

首先，爱智操作系统不限定智能设备的厂家或者品牌，任何设备厂家，无论是五百强企业还是只有几个人的小作坊，所生产的智能设备在爱智操作系统中都能够得到同样全面的支持，以解决物联网设备“碎片化”的问题，让更多的智能设备能够互联互通，打破烟囱效应，给消费者充分的选择权，为消费者搭建出各种场景的智能服务，给物联网产业带来良性竞争的局面。

其次，我们开放了自研的 SDDC 和 ZDDC 协议，分别适用于 WiFi 设备和 ZigBee 设备，设备开发者适配之后，爱智操作系统可以自动发现和连接智能设备，最终用户不需要手动配置网络名称和密码等信息，设备可以自动配置网络并

自动发现和连接。

爱智的应用市场 - 爱智世界也为广大开发者提供了一个开放的应用分发渠道。开发者可以为任何开放的设备开发应用，并通过爱智世界把应用分发到爱智用户的设备上，爱智云为开发者实现付费应用或者应用内购买提供了方便的接口，消费者则可以自由选择符合自己需求的应用。

最后，爱智提供了一个开放设备协议的平台，设备开发者可以把设备的能力有选择的通过爱智官网的设备中心开放出来，从而让更多的应用开发者为自己的设备开发应用，提升最终用户的体验，促进设备的销售。

● 安全无忧

安全是爱智操作系统的核心理念之一，爱智操作系统从多个维度保障了用户的数据和隐私安全。

首先，SylixOS 通过了国际权威机构颁发的 SIL 4 认证，证明爱智操作系统的内核安全性已经达到了国际领先水平，同时 SylixOS 内核支持专利技术掉电安全文件系统，能够最大程度保证用户数据的安全。

其次，SylixOS 内核支持基于安全容器的沙箱技术，应用之间互相隔离，防止应用被恶意攻击或者盗取数据。

同时，爱智操作系统支持数字签名和数字证书，能够识别可信设备，防止系统被恶意设备连接；客户端在本地和远程连接都支持加密技术，防止用户信息在网络传输时被窃取

或者篡改。

此外，爱智操作系统还内置了多维度的安全管理机制，能够从用户、应用、设备和系统能力多个维度保护用户安全，让用户安心使用。用户可以自定义用户组，邀请不同用户加入不同的用户组，并赋予每个组不同的应用使用和管理权限；某个爱智应用能够使用哪些设备和设备的哪些能力，也可以由用户根据场景进行配置。爱智还通过专利技术使权限变化的时候系统可以热更新，不需要重新启动，保证安全的同时，最大程度保证了良好的用户体验。

四、爱智操作系统与开发者

爱智操作系统为开发者提供了充分的支持。

因为爱智操作系统的开放性，所有的应用和设备开发者都可以注册成为爱智开发者，参与到爱智生态的开发中来，让更多的设备实现互联互通，用更短的时间，为最终用户开发出体验更好的各种应用。

其次，爱智为开发者提供了完善的工具链，从开发必须的爱智 SDK 和开发文档，到开发者熟悉的 Visual Studio Code 开发插件，包管理工具 EPM，爱智云应用分发和管理，爱智支付，设备中心等功能，应用和设备开发者都能够通过易于使用的工具把自己的梦想变为现实。

我们还在爱智官网为开发者提供了内容丰富的开发文档和 demo，提供了大量的示例代码让开发者可以快速上手，

同时我们也在录制视频开发课程，通过多种媒体为开发者提供支持。

同时，我们和国内最专业的，用户量最大的开发者媒体 CSDN 共建了一个专业的开发者社区，开发者可以在社区就爱智开发相关问题进行充分的交流。

接下来，爱智操作系统将深耕智慧家庭，智能座舱，智慧城市等领域，期待更多开发者加入我们，一起实现万物互联的美好时代。

IPv6

编者的话⁵：再谈 IPv6

本刊第三期刊登了清华大学李星教授的一篇文章：“把握历史机遇，推进 IPv6 发展”，当时引发了一阵争议。今发表一则关于 IPv6 的消息：

2021 年 10 月 11 日，2021 中国 IPv6 创新发展大会在北京开幕。中央网信办副主任、国家网信办副主任盛荣华，国家广播电视总局副局长杨小伟，工业和信息化部总工程师韩夏，北京市委常委、副市长殷勇出席大会并致辞，推进 IPv6 规模部署专家委员会主任、中国工程院院士邬贺铨主持开幕式。

国家“十四五”规划纲要明确指出：“全面推进互联网协议第六版（IPv6）商用部署”。

坚持创新为魂，构建以企业为主体、市场为导向、产学研用相结合的“IPv6+”创新体系，全面推进 IPv6 技术创新、应用创新、服务创新、管理创新。

坚持应用为重，按照典型应用先行、移动固定并举、增量带动存量的发展路径，深入推动 IPv6 在智慧城市、数字乡村、能源互联网、在线医疗等场景部署应用。

坚持安全为要，统筹做好 IPv6 网络设施升级和安全保障工作，积极发挥 IPv6 在维护网络安全方面的独特优势，

⁵ COPU 编者陈伟、鞠东颖。

有效防范网络安全风险。

坚持惠民为本，聚焦群众新期待、新需求，在更高水平上提升网络性能、优化公共服务、丰富信息产品、弥合数字鸿沟。



敬请关注联盟微信公众号
COPU开源联盟

中国开源软件推进联盟秘书处

电话: +86 010-88558999

联盟公共邮箱: office@copu.org.cn

联盟官网: <http://www.copu.org.cn>

地址: 北京市海淀区紫竹院路66号赛迪大厦18层