



计算机科学与工程学院
School of Computer Science and Engineering



面向智能应用的软硬件协作 技术和系统研究

沈典

(副教授、博导)

江苏省网络与信息安全重点实验室

东南大学计算机科学与工程学院

dshen@seu.edu.cn

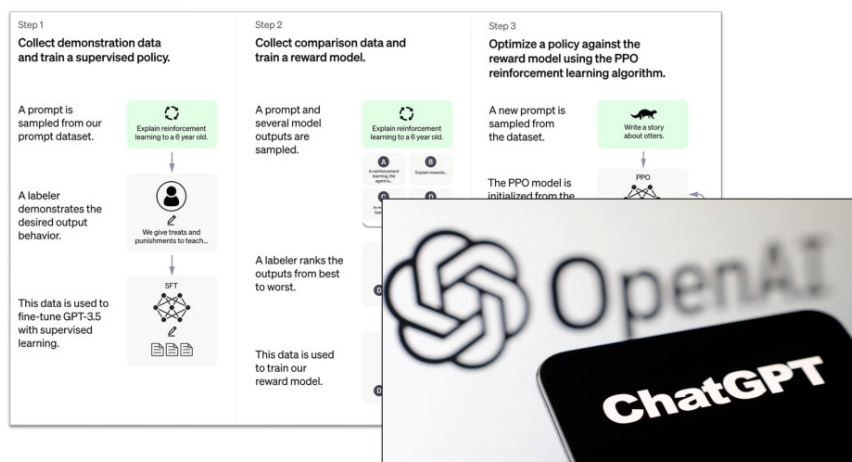
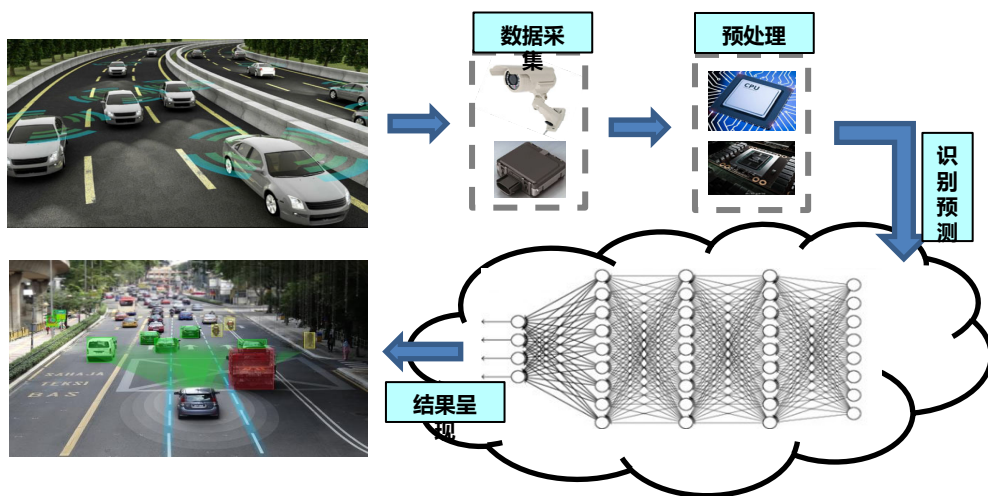




● 智能时代

- 以ChatGPT为代表的大模型展现出强大的智能涌现
- 在智能时代，未来各种各样的应用将接入智能能力
- 智能的基石：算力和计算机系统

Training Type	Cluster Configuration	Training Time
Finetune	A100 80G*8	One week
Reward Model	A100 90G*24	One week
RL Training ChatGPT	A100 80G*160	One week



智能驾驶类应用需求ms级的推理时延^[2]

ChatGPT等大模型训练需要超强算力^[1]

来源：[1] Alibaba Cloud. Towards AI-Oriented High Computing Power Data Center Network. APNet 2023.

[2] 科技创新2030 — “新一代人工智能”重大专项项目课题：自适应感知智能驱动的端边云融合计算



计算机科学与工程学院

School of Computer Science and Engineering

● 边缘计算架构



云计算

云计算：构建海量资源池（数据中心），为智能应用提供海量算力，**强算力**

Tips：OpenAI的ChatGPT模型在微软的Azure云数据中心训练



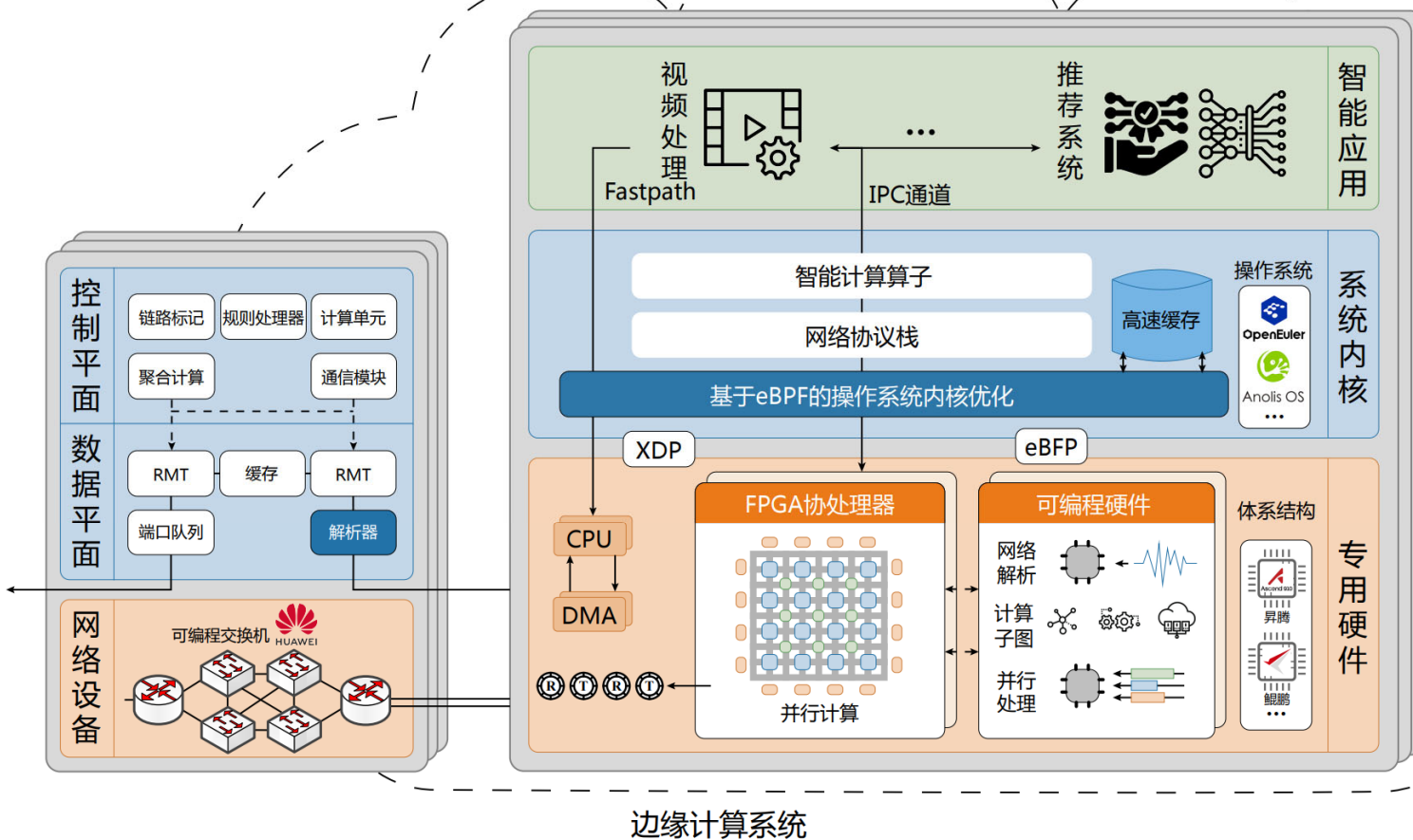
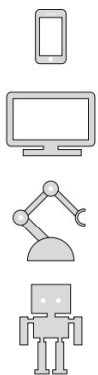
边缘计算

边缘计算：更加贴近用户的算力，提供更**低延迟**的推理能力

探索问题：面向智能应用的需求，在云/边缘计算新架构下，计算机系统该如何演进？



- 研究路线：自顶向下，深入底层，软硬结合
- 解决方案：面向智能应用的软硬件协作系统研究





计算机科学与工程学院

School of Computer Science and Engineering



● 研究课题

自顶向下



应用

基于深度学习的视频处理应用
(视频超分辨率技术、深度学习)

知己知彼

内核

新型网络计算的内核优化
(Linux、eBPF)

修炼内功

硬件

智能算法的软硬件协作
(FPGA、优化算法)

底层创新



● 研究课题

应用

自顶向下

基于深度学习的 视频处理应用



视频应用（短视频、直播等）已成为互联网中的主要网络流量。针对人们对实时视频流应用清晰度越来越高的要求，基于超分辨率提升视频清晰度，并基于网络将视频实时传输至终端。结合边缘计算和深度学习技术，在视频传输过程中边处理边传输，保证视频流传输的实时性的同时，提高视频的分辨率。

相关论文：

Multi-exit DNN Inference Acceleration based on Multi-Dimensional Optimization for Edge Intelligence. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2022. (CCF A)

Exploiting the Computational Path Diversity with In-network Computing for MEC. IEEE SECON 2022. (CCF B)

WAEVSR: Enabling Collaborative Live Video Super-Resolution in Wide-Area MEC Environment. IWQoS 2023. (CCF B)



计算机科学与工程学院

School of Computer Science and Engineering



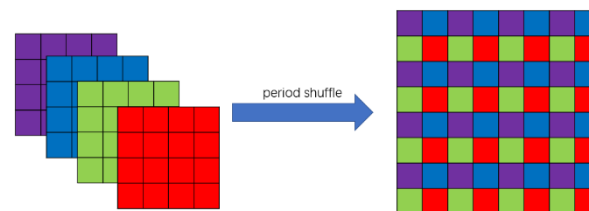
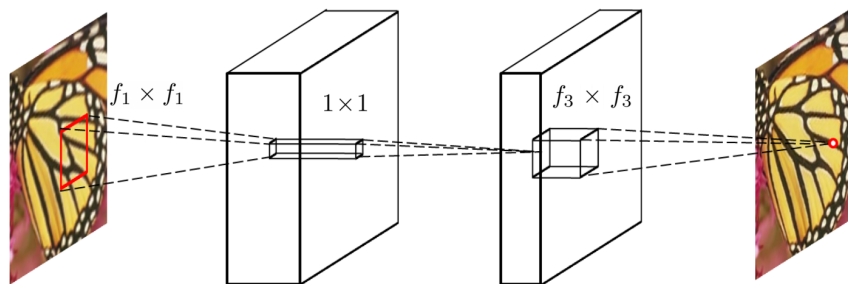
输入低分辨率图片序列
e.g. BCHW=7×3×480×720



特征提取, 输出特征图
e.g. BCHW=7×48×480×720

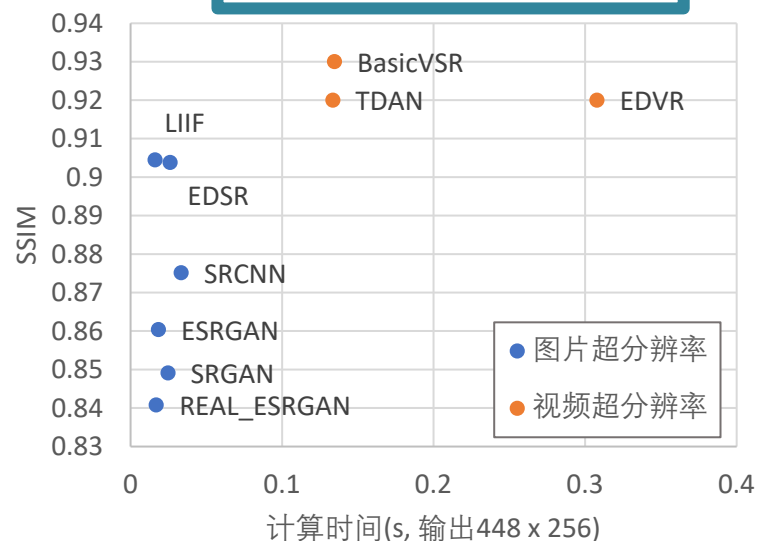
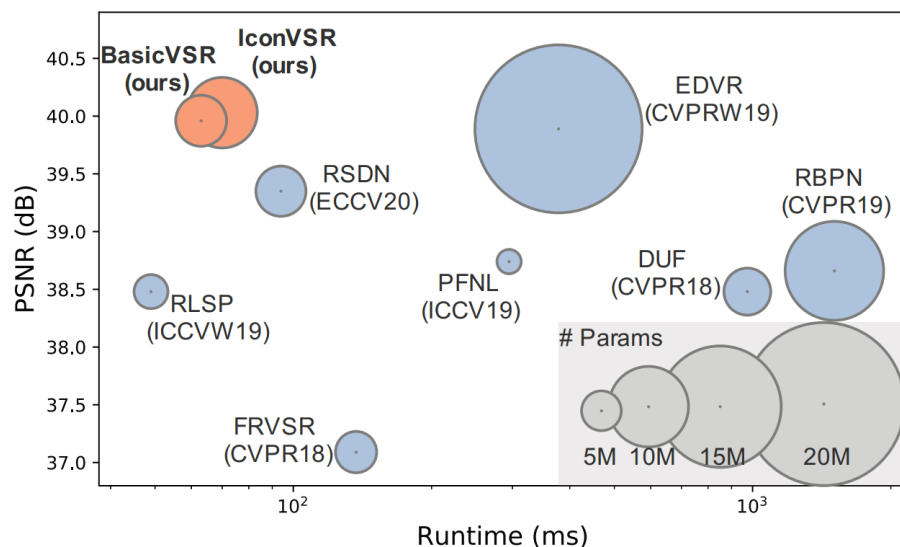


特征图子像素运算
输出高分辨率图片序列
e.g. BCHW=7×3×1920×1080



图片超分辨率(SISR): 关联单张图片内的特征
视频超分辨率(VSR): 关联多张图片间的特征

视频超分辨率模型
质量高但计算量大





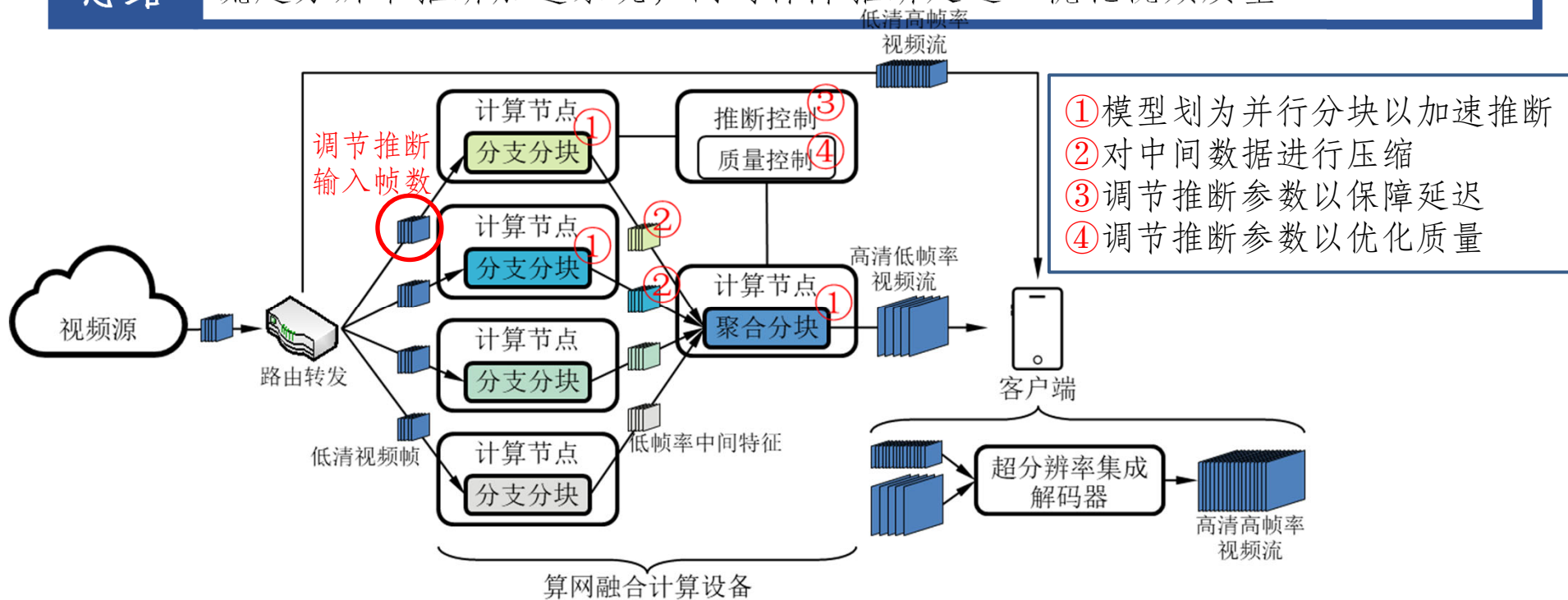
计算机科学与工程学院

School of Computer Science and Engineering



研究思路

综合考虑**模型结构**、**分布式推断**、**集成解码**，构建算网融合环境下实时视频流超分辨率推断加速系统，同时保障推断延迟、优化视频质量



保障推断延迟



并行化超分辨率**模型结构设计**
满足延迟限制的**推断参数范围**

优化视频质量



(在满足延迟限制的输入帧数范围内)
使集成解码输出**质量最优的推断参数**

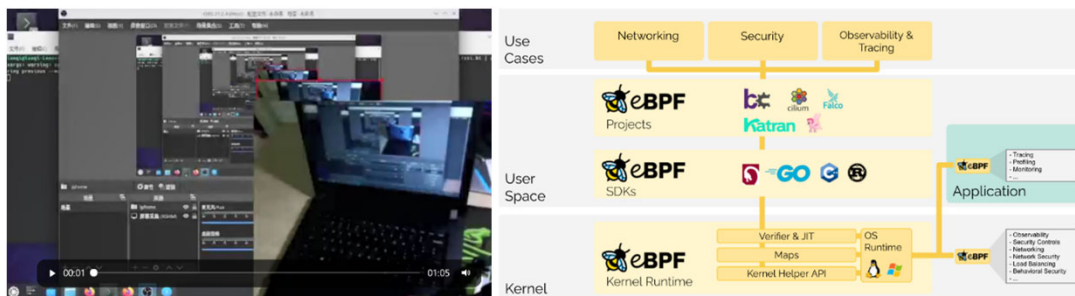


● 研究课题

内核

自顶向下

新型网络计算的内核优化 (Linux、eBPF)



操作系统是云计算和边缘计算构建泛在算力的核心组件。随着网络技术的不断演进，和视频传输应用日益增长的流量和服务质量需求，如何在操作系统层面对视频传输协议、深度学习计算进行更加高效的融合和创新？针对操作系统内核中的网络子系统进行观测、分析与优化，在操作系统层面进行改进并利用eBPF技术实现。

相关论文：

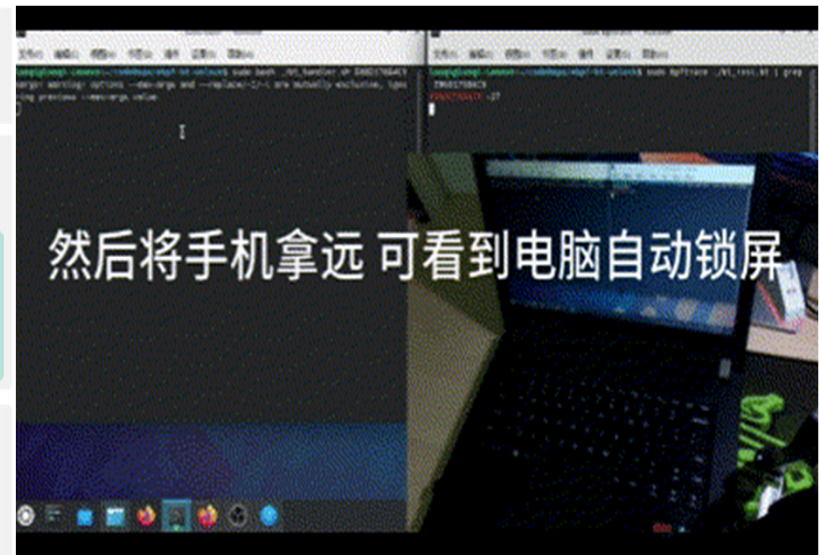
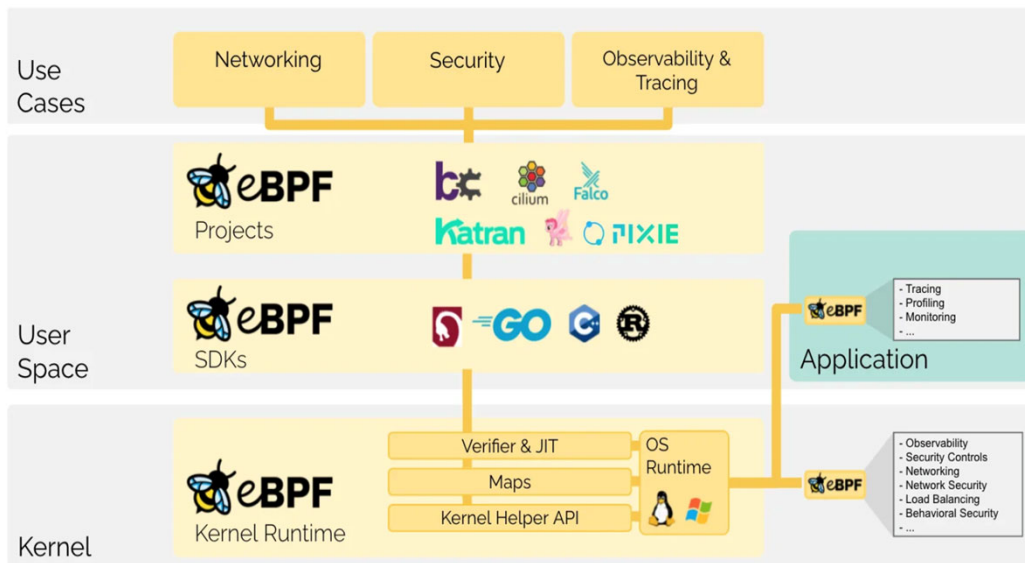
Distributed and Optimal RDMA Resource Scheduling in Shared Data Center Networks, Infocom 2020. (CCF A)
Facilitating Application-aware Bandwidth Allocation in the Cloud with One-step-ahead Traffic Information. (CCF A)
Last-mile Matters: Mitigating the Tail Latency of Virtualized Networks with Multipath Data Plane. IEEE CLUSTER 2022. (CCF B)



□ eBPF: 新型的操作系统扩展、安全、观测的核心技术，支持将自定义的程序动态插入操作系统内核中

(extended Berkeley ~~Packet Filter~~)

□ 核心思想是在操作系统内核中运行类似虚拟机的沙盒程序



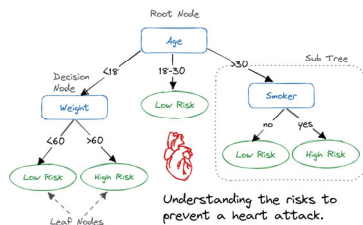


基于eBPF的内核高级数据结构扩展

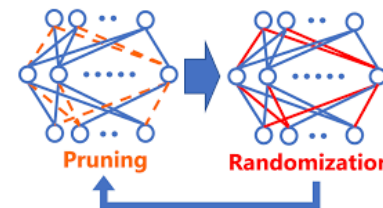
基于eBPF实现操作系统智能化支持：高级数据结构

核心需求

决策树:智能
网络包分类、
流量调度



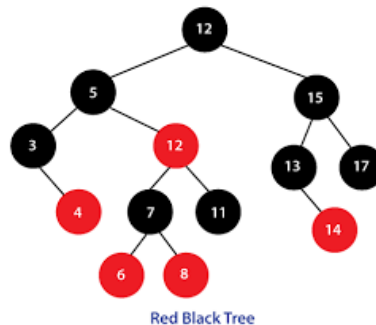
轻量神经网络:智
能网络拥塞控制、
数据包调度



现有的Linux内核eBPF技术由于存在严格的编程限制导致无法直接基于eBPF实现复杂的数据结构

核心挑战

- eBPF内置的数据结构为通用的数据结构、且数量有限
- 无法分配和访问 dynamic memory
- 无法使用unbounded-loop



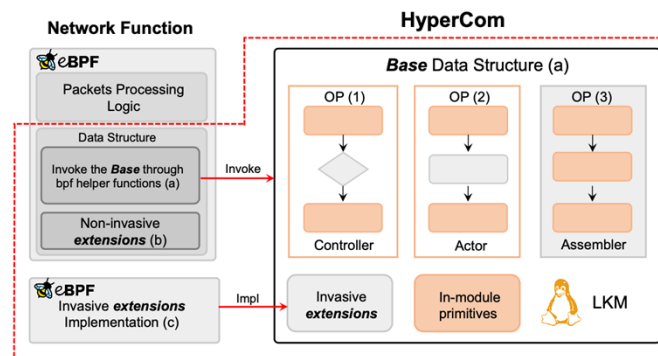
Algorithm 1: Insertion operation in Heap
Data: B : input array; N : starting index; $newValue$: new node
Result: Heap tree with the new node
Procedure Insertion($B, N, newValue$)
 $N = N + 1$;
 $B[N] = newValue$;
 $k = N$;
while $k > 1$ do
 $PNode = k/2$;
 if $B[PNode] < B[k]$ then
 swap($B[PNode], B[k]$);
 $k = PNode$;
 else
 return;
 end
end
end



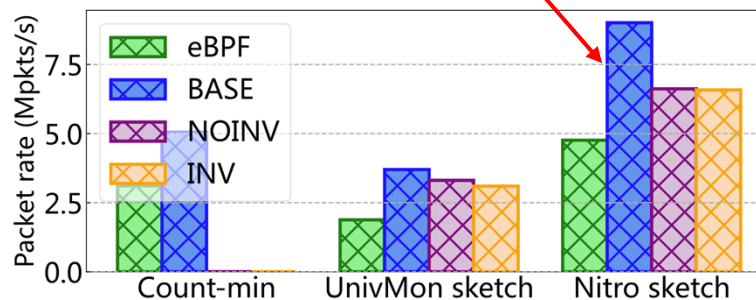
基于eBPF的内核高级数据结构扩展

HyperCom: Enabling High Performance Complex Data Structure Designs with eBPF for Intelligent Applications

- 基于LKM实现base part, 基于eBPF实现extension part (Comprehensiveness)
- 支持高性能的指令 (eg: SIMD) 和高级优化策略 (Performance)
- 设计了多种数据结构扩展方式 (Flexibility)



对于现有方法性能提升了
62.3%, 96.8% 和 89.2%



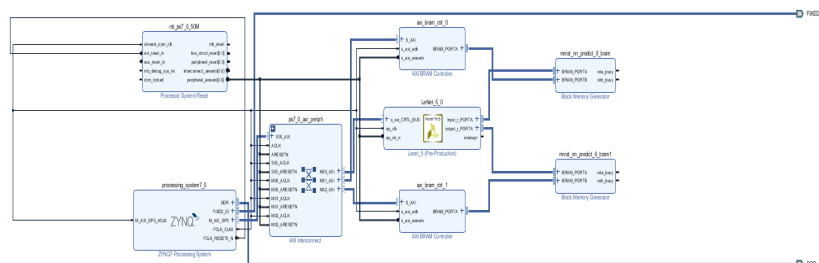
核心设计



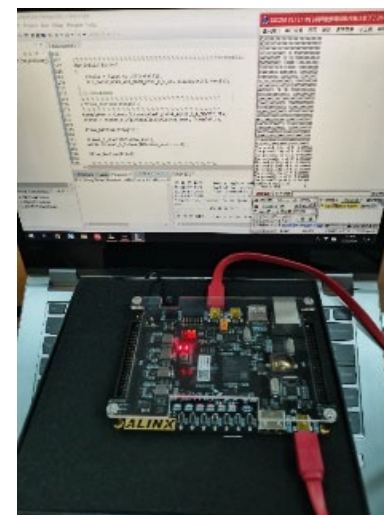
● 研究课题

硬件

面向智能算法的软硬件协作
(FPGA、优化算法)



针对通用计算硬件CPU在实时视频处理、深度模型推理、低延迟网络传输方面的性能瓶颈，设计面向智能算法的软硬件协作方法。基于FPGA实现高并行、低功耗、高通量、低延迟的智能算法专用加速器，并为领域芯片设计提供参考。

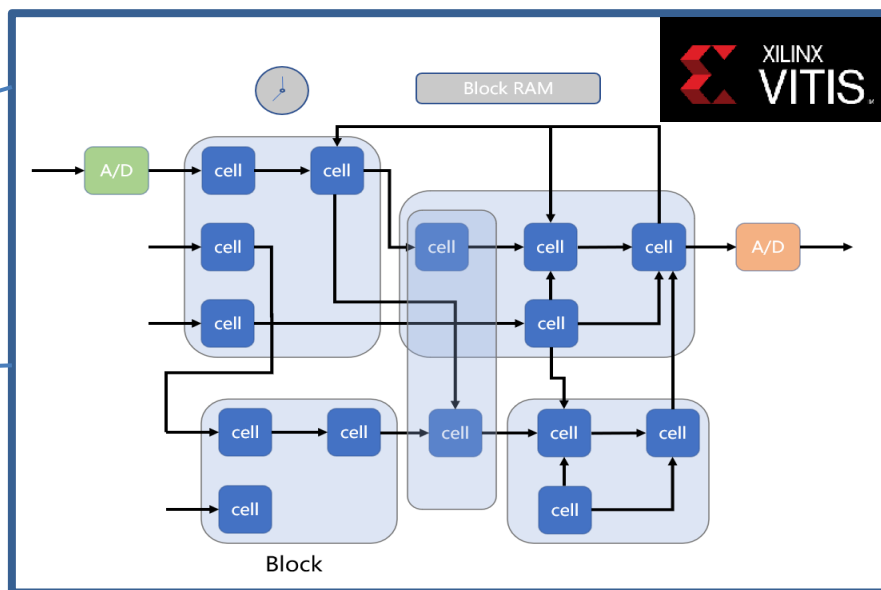
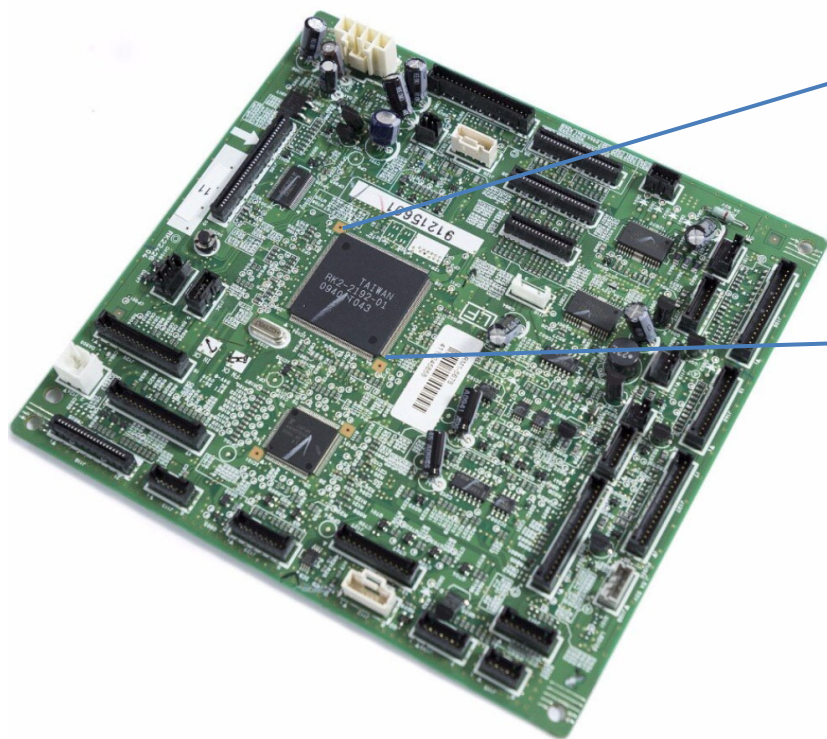


自顶向下



□ FPGA: Field Programmable Gate Array 现场可编程门阵列

- 通过软件来配置其内部的逻辑结构和功能的集成电路
- 高灵活性、低功耗
- FPGA被广泛应用于芯片的原型验证
- 近年来被计算机领域所关注，广泛用于网络、智能算法的加速

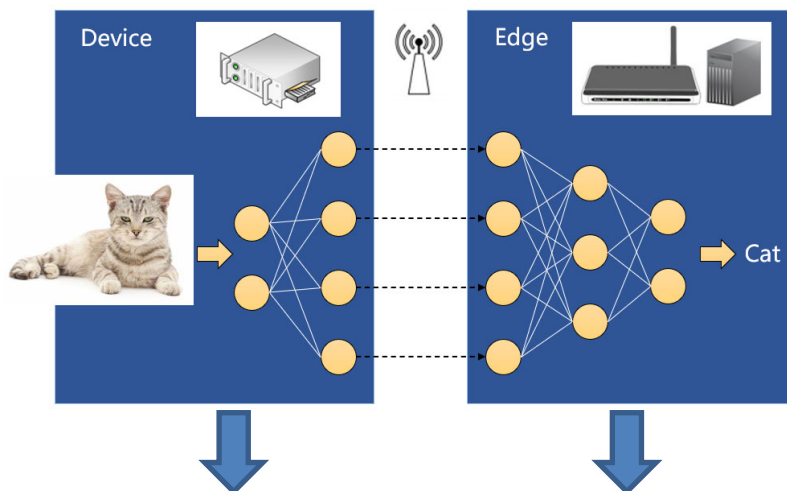




针对边缘环境下机器视觉推理任务进行加速

研究思路

- 神经网络的FPGA执行性能建模-如何高效、并行利用FPGA的片上资源
- 模型切分策略-如何确定模型的切分粒度、切分位置和切分数量
- 基于HLS（高层次）综合的电路设计



The screenshot shows the Vivado IDE interface. It includes a timing diagram for IP, a circuit design for building the circuit based on Vivado, and the configuration of the ZYNQ core. The interface is divided into several panels, including a code editor and a configuration window.

IP时序

基于vivado搭建电路

配置ZYNQIP核

基于vitisHLS开发IP核

基于模型切割的边缘推理加速方法



计算机科学与工程学院
School of Computer Science and Engineering



● 论文发表:

- Dian Shen, Junzhou Luo, Fang Dong*, Xiaolin Guo, Ciyuan Chen, Kai Wang, John C.S Lui. Enabling Distributed and Optimal RDMA Resource Sharing in Large-scale Data Center Networks: Modeling, Analysis, and Implementation. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2023. Accept. (CCF A)
- Bin Yang, Dian Shen, Junxue Zhang, Fang Dong, Junzhou Luo, John C.S. Lui. Towards the Full Extensibility of Multipath TCP with eMPTCP. 2022 IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP). (TH-CPL A)
- Fang Dong, Huitian Wang, Dian Shen, et al. Multi-exit DNN Inference Acceleration based on Multi-Dimensional Optimization for Edge Intelligence. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2022, 10.1109/TMC.2022.3172402. (CCF A)
- Dian Shen, Junzhou Luo, et al. Distributed and Optimal RDMA Resource Scheduling in Shared Data Center Networks, Infocom 2020 : 606-615. (CCF A)
- Shen Dian, Luo Junzhou, et al. Facilitating Application-aware Bandwidth Allocation in the Cloud with One-step-ahead Traffic Information [J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2020, 13(2):381-394. (CCF A)

近年来，每年都指导学生在CCF A/B类会议期刊发表论文！

● 培养方式:

- 聚焦前沿、深入基础、悉心培养
- 围绕学术界和工业界的热点和前沿问题，确保职业生涯发展前景
- 深入基础，做小而精（Small and sweet）的研究，侧重于修炼内功，注重职业生涯的长期发展
- 小组化培养，一对一指导，保证每周充足的沟通和指导时间，与学生教学相长，确保职业生涯的良好开端



计算机科学与工程学院
School of Computer Science and Engineering



● 年轻、活力、有爱的团队氛围：



● 广阔的就业前景和长远的职业生涯：

- 网络与系统技术是互联网、大规模人工智能等应用场景中的核心基础、我国“卡脖子”技术
- 近年来，所指导毕业生的去向包括阿里巴巴、华为南研所、网易游戏等企业的云平台开发、后端开发等岗位，以及前往新加坡、香港等地读博深造

毕业时间	姓名	毕业去向
2020年研	王凯	阿里云
2021年研	杨明璇	网易游戏
2022年研	翟易	本校继续读博深造
2022年研	邵尚一	南洋理工读博深造
2023年研	杨彬	本校继续读博深造
2023年研	刘昊洋	国家安全部
2020年本	刘昊洋	本校读研（校优秀毕设）
2022年本	赵君亮	美团SSP（校优秀毕设）



计算机科学与工程学院
School of Computer Science and Engineering



欢迎对相关方向研究感兴趣的
同学报考我的硕士研究生！

联系方式：

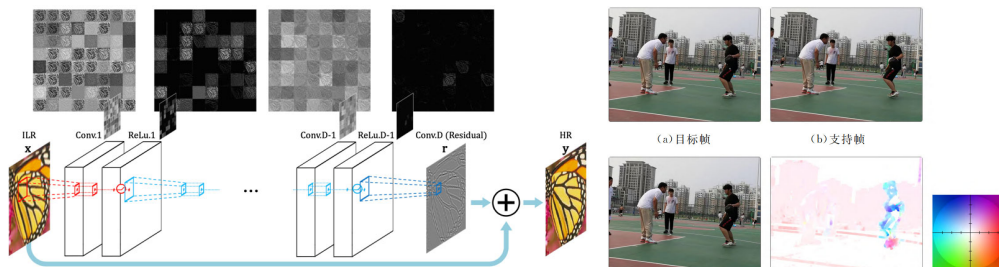
- 邮件：dshen@seu.edu.cn
- 电话：18100621588（微信同号）



● 研究课题

应用

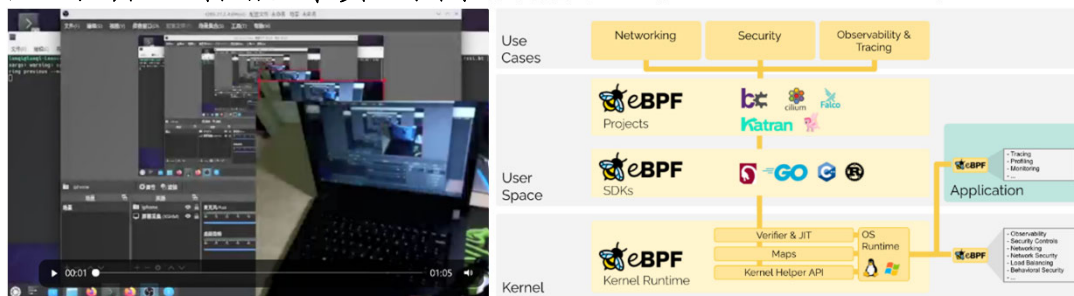
基于深度学习的视频处理应用（视频超分辨率技术、深度学习）



知己知彼

内核

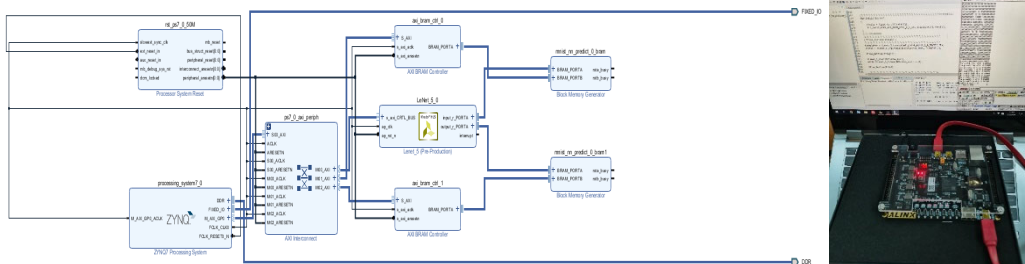
面向新型智能计算的内核优化（Linux、eBPF）



修炼内功

硬件

智能算法的软硬件协作（FPGA、优化算法）



底层创新

自顶向下