



# 基于Rust语言的操作系统内核 --面向OS教学的探索

陈 渝

清华大学计算机系

2020. 12. 26

# 报告内容



- 已有工作简介
- 当前OS/Arch/Lang的发展变化
- 当前操作系统的困难与问题
- 相关的研究
- 目标与当前进展

AIoT



Mobile



Desktop



Server



# 已有工作简介

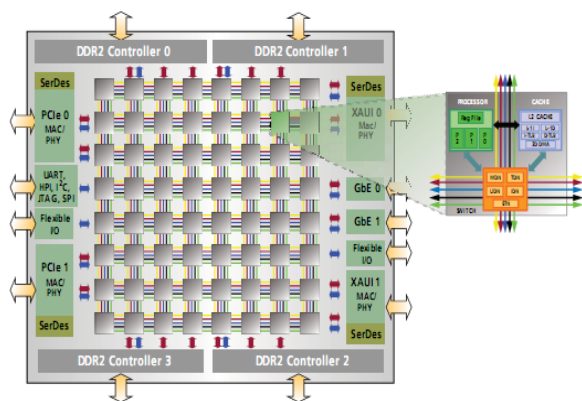
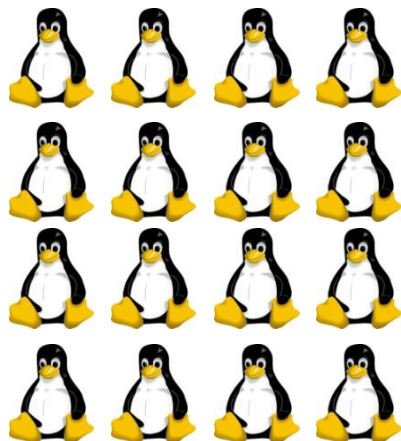
- 研究方向

- 操作系统性能分析与优化

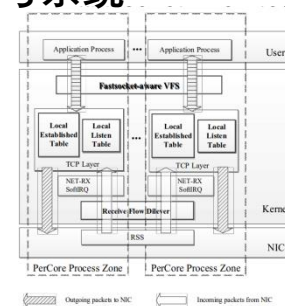
- 面向多核架构的操作系统/虚拟机性能优化方法



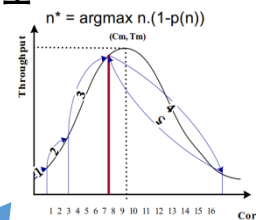
Linux



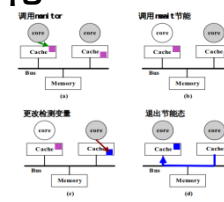
## 内核IO优化机制与系统



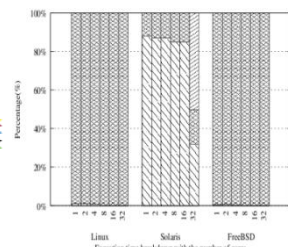
## 调度算法, 内存管理



## 锁机制建模与可扩展优化

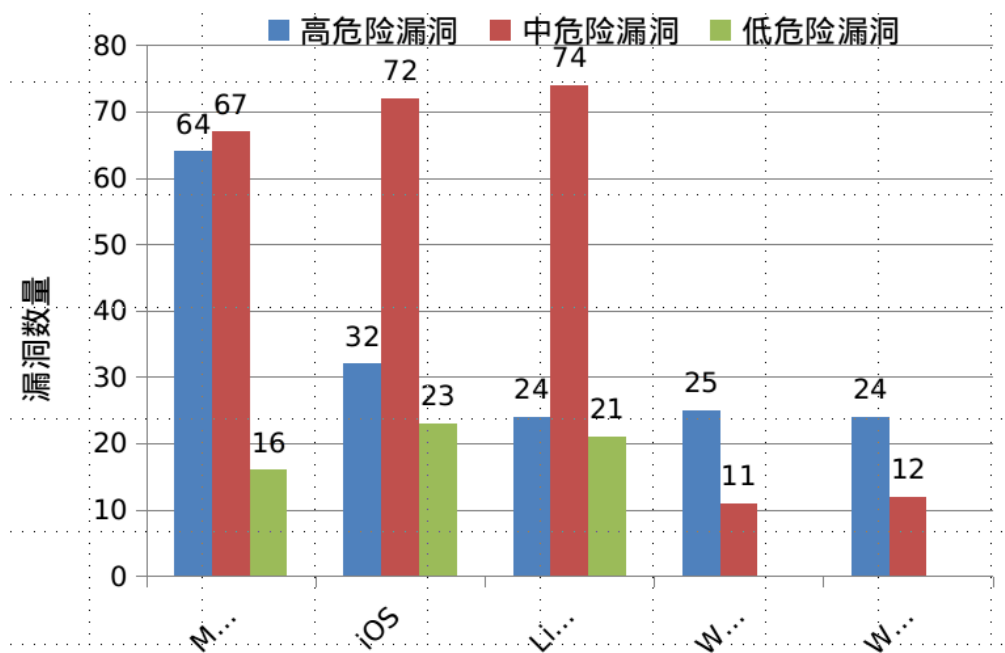


## 性能分析与方法



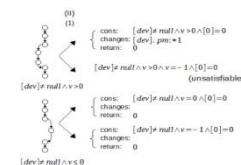
# 已有工作简介

- 研究方向
  - 操作系统安全和可靠性分析
  - OS缺陷漏洞分析与避免



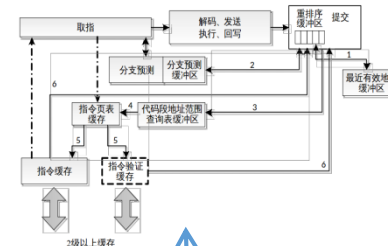
当前主流操作系统的安全漏洞数量

## 基于不一致路径对检测的引用计数缺陷分析

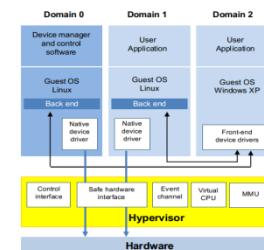


Summary of inc\_pcount(device \*d)  
cons: [d]!=null  
entry 1: changes: [d].pm+=1  
return:  
cons: [d]=null  
entry 2: changes: return:  
return:

## 防止代码重用攻击的软硬件协同保护机制

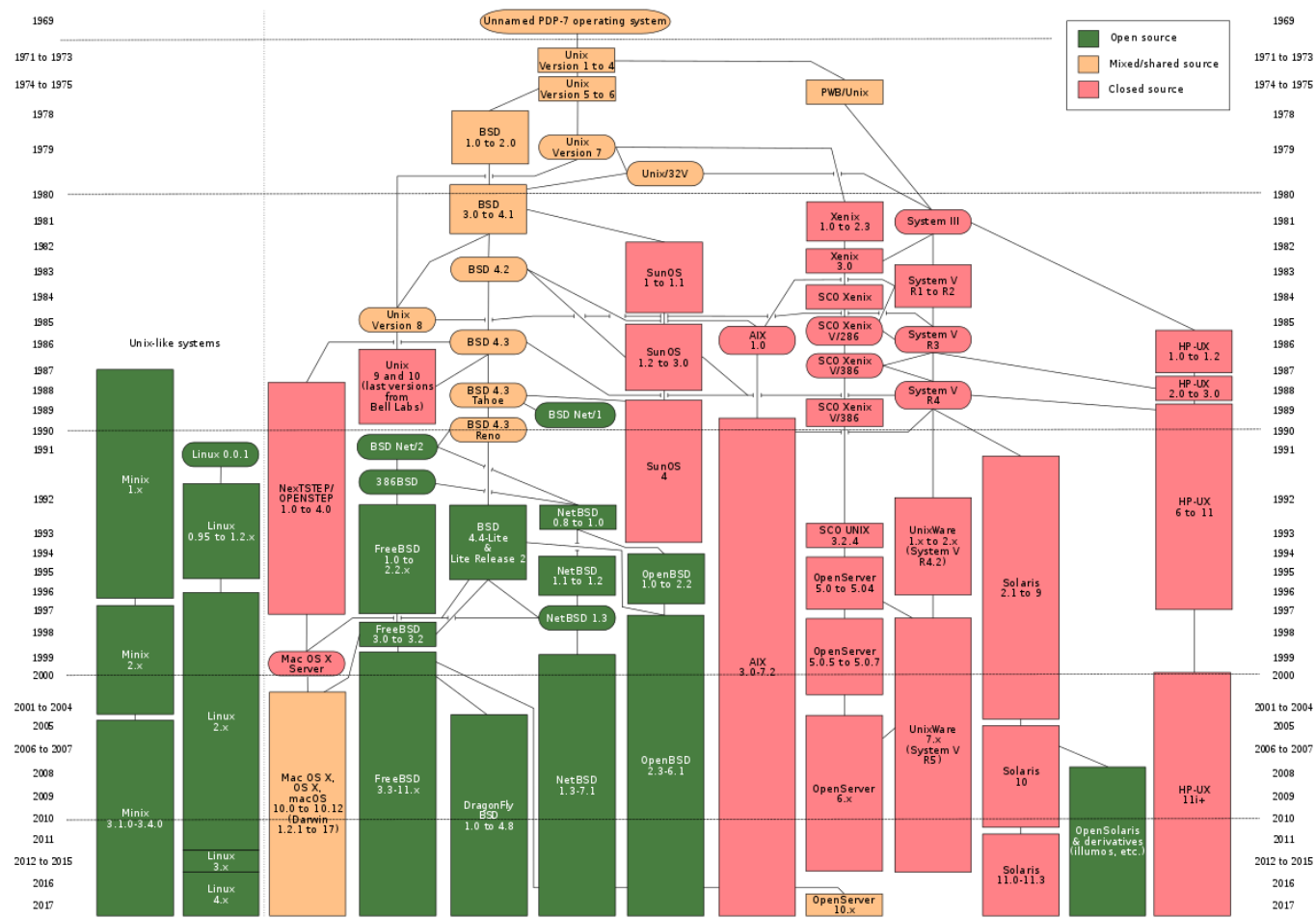


## OS分区隔离安全机制



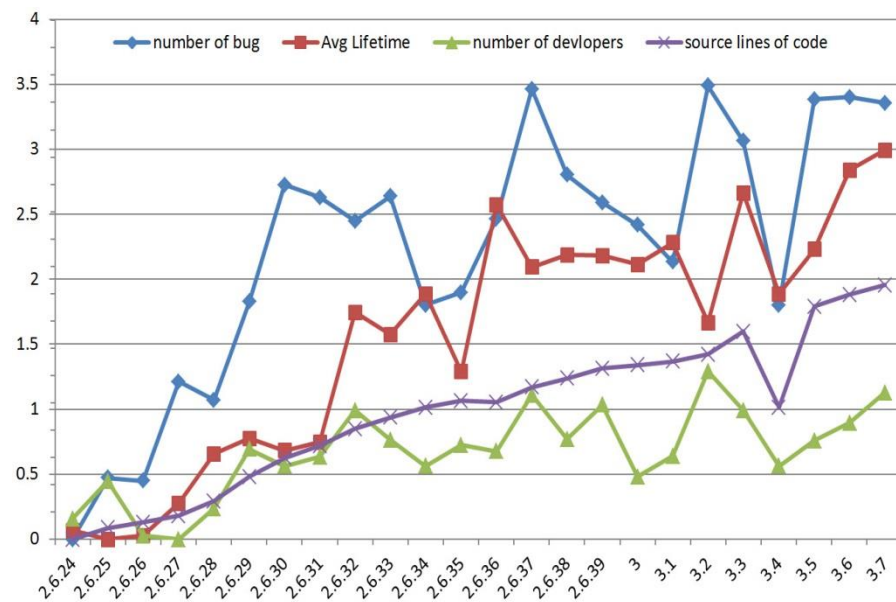
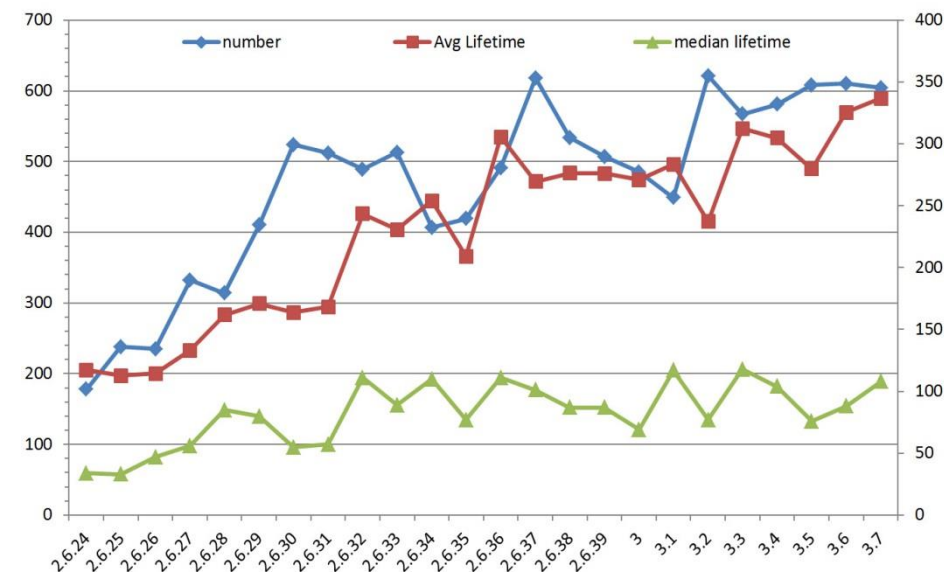
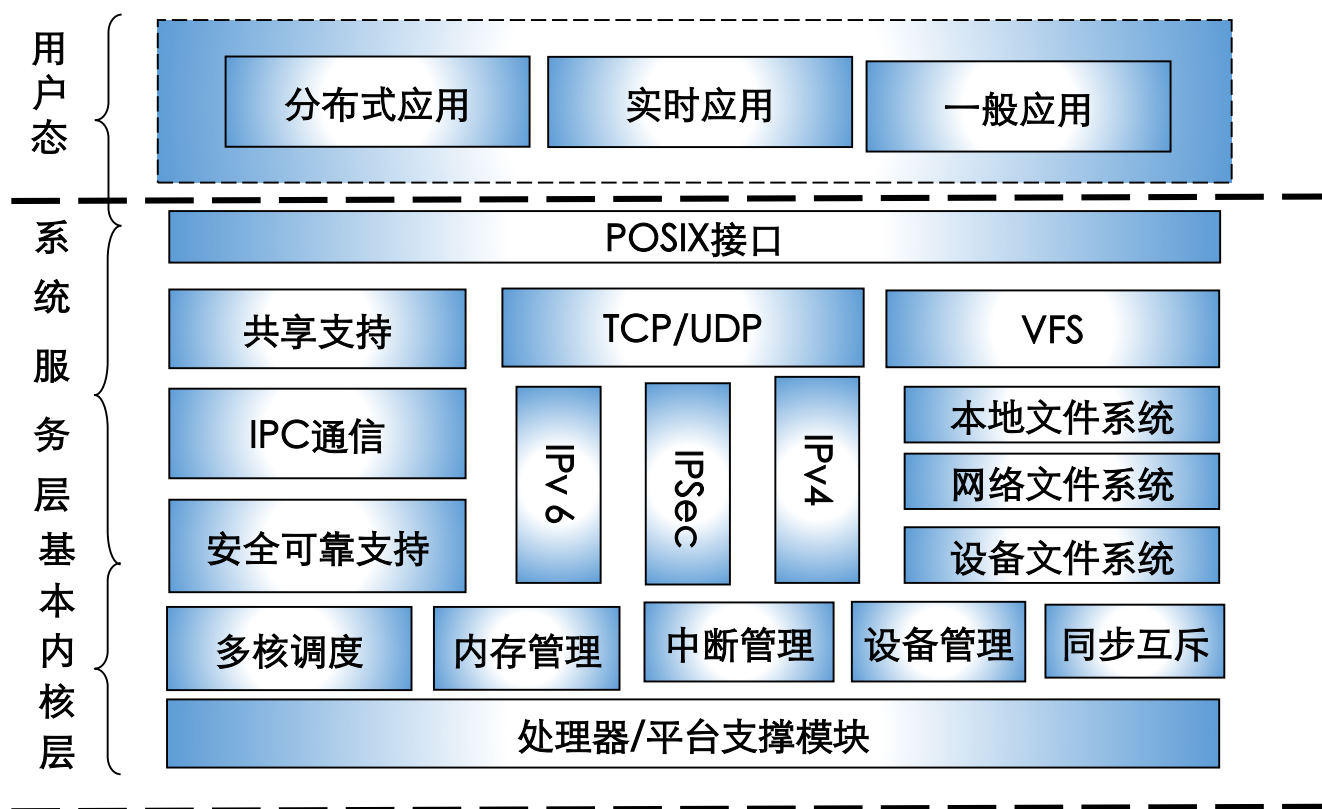
# 报告内容

- 已有工作简介
- 当前OS/Arch/Lang的发展变化
- 当前操作系统的困难与问题
- 相关的研究
- 目标与当前进展



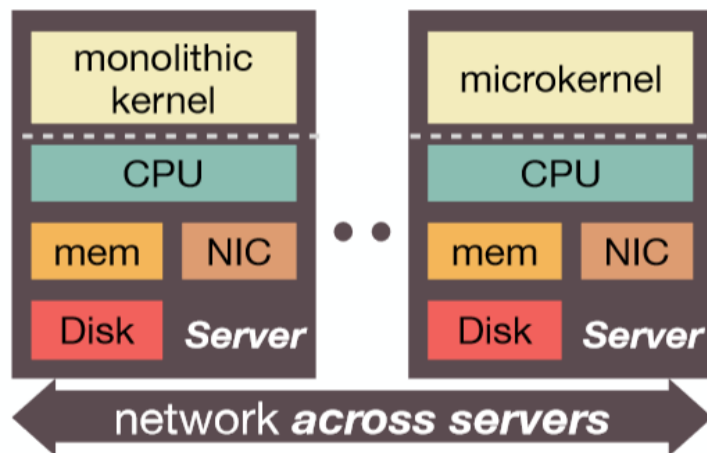
# 当前操作系统的发展变化

- 对当前Linux Kernel的理解
  - 内核树的总代码行数为 26,132,637 行 (2018)
  - Linux漏洞有扩大化的趋势
  - 但发现Linux漏洞难度加大

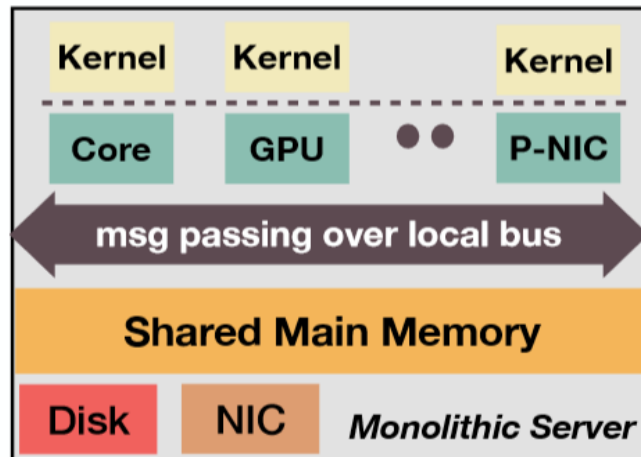




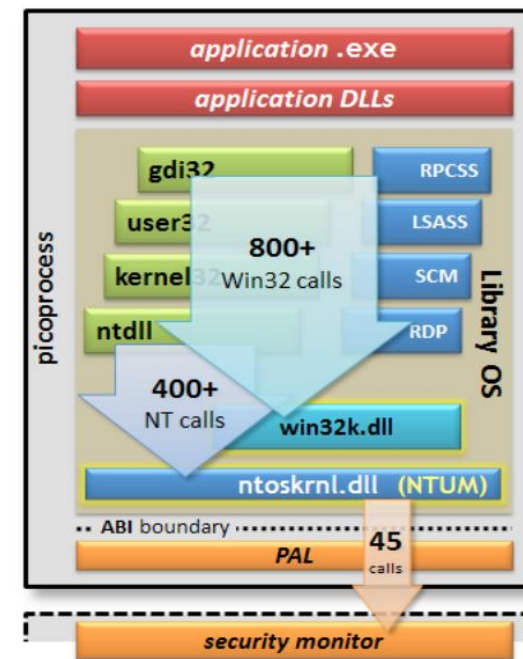
# 当前操作系统的发展变化



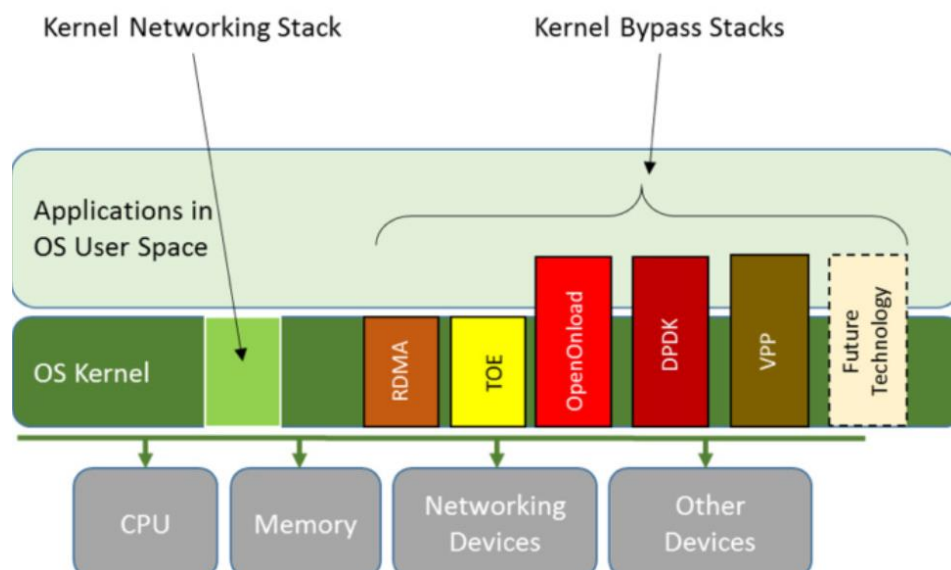
**Monolithic/Micro-kernel**  
(e.g., Linux, L4)



**Multikernel**  
(e.g., Barrelfish, Helios, fos)

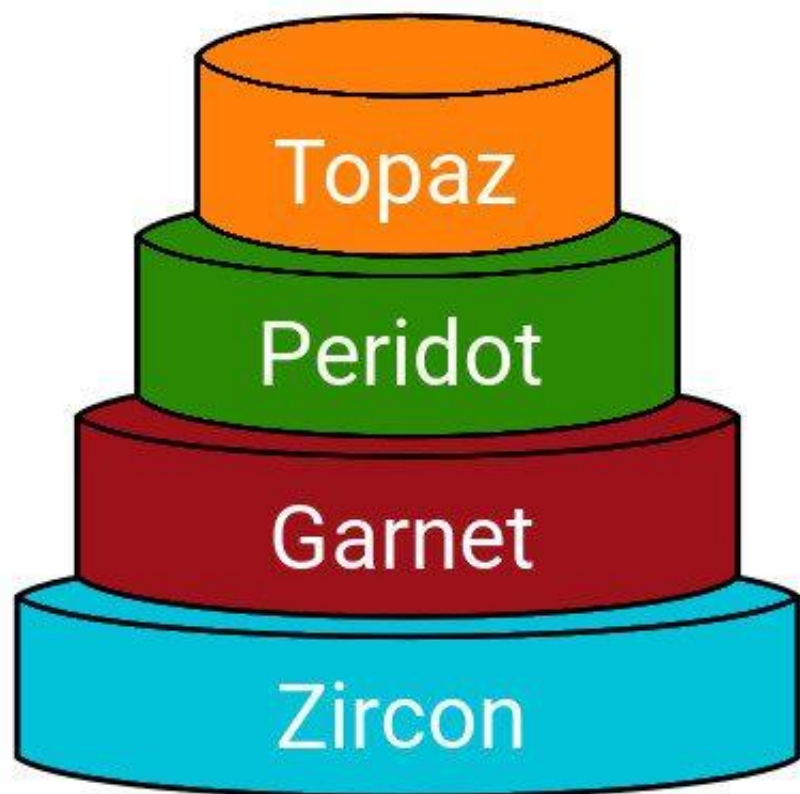


**LibOS**  
(e.g., exokernel, drawbridge)



**Bypass Kernel**  
(e.g., DPDK, RDMA, ...)

# 当前操作系统的发展变化



**Topaz: Runtime/前端框架和系统UI/系统程序**，提供Flutter支持，及其应用程序

**Peridot**：系统框架和相关，处理Fuchsia的模块化应用程序设计，跨设备保存信息

**Garnet**：平台相关基础库和服务，包括硬件的驱动程序（网络，图形等）和软件安装

**Zircon 内核**：处理硬件访问和软件之间的通信



# 体系结构与操作系统的关系

## Current Security Challenge

- Spectre: speculation  $\Rightarrow$  timing attacks that leak  $\geq 10$  kb/s
- More microarchitecture attacks on the way\*
- Spectre is bug in computer architecture definition vs chip
- Need Computer Architecture 2.0 to prevent timing leaks\*\*
- Software not yet secure  $\Rightarrow$  how can hardware help?

## 对当前体系结构的理解

# 编程语言与操作系统的关系

## C语言的基本特征

C语言是为写OS而诞生的，C语言直接映射了单CPU的工作方式

C语言的精华与灵魂就是指针

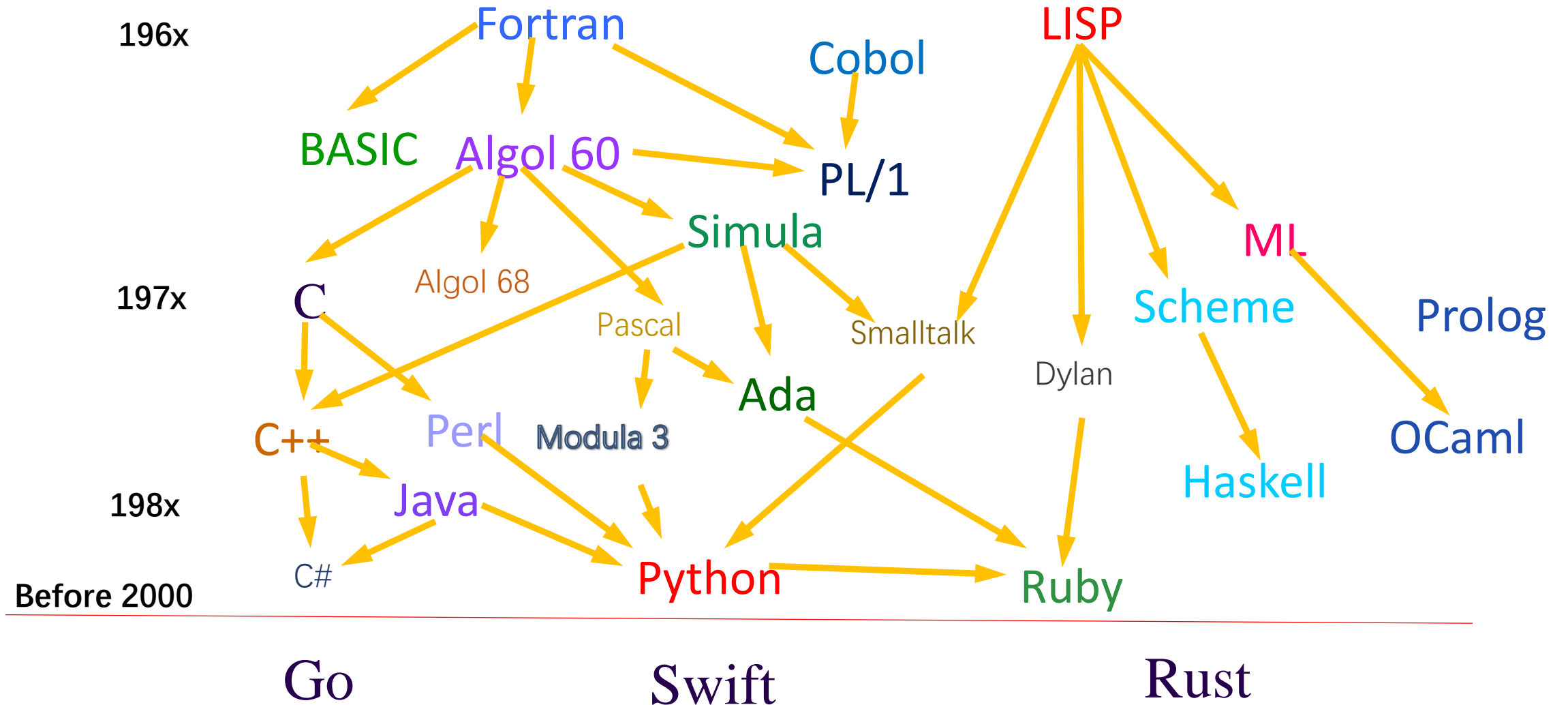
指针是C语言的天使与魔鬼

缺少有效的并发支持是C语言的遗憾

197x年代，Dennis Ritchie和KenThompson还没有渴望计算机帮助完成更复杂的业务逻辑，只是希望用一种更加简单的方式抽象出计算机的行为，便于编写操作系统，最终的结果就是C语言。

# 编程语言与操作系统的关系

## A family tree of languages



# 编程语言与操作系统的关系

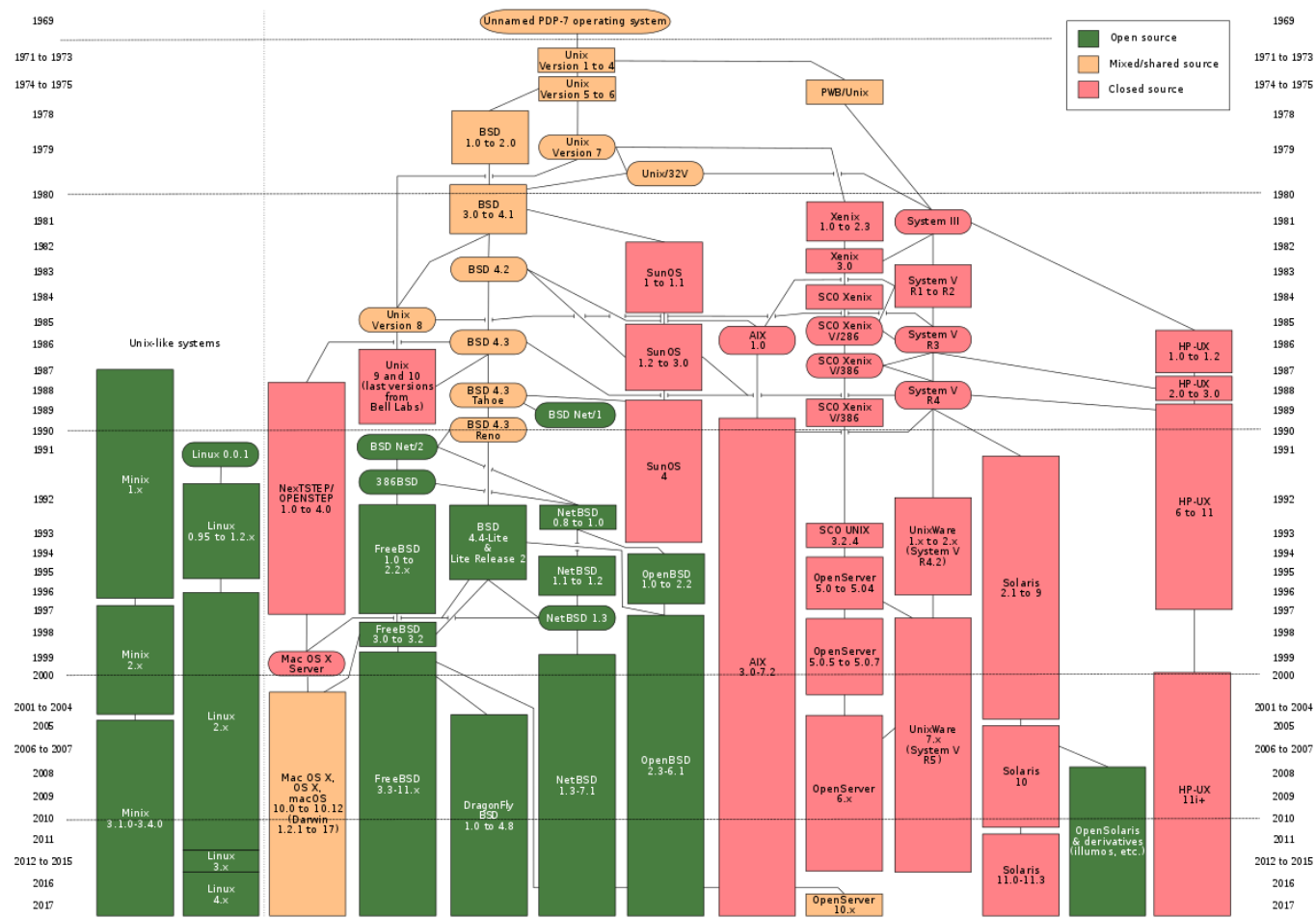
对当前编程语言的理解

Hellogithub编程语言排行榜 TOP 10 榜单(2020.7)

排名	编程语言	流行度	对比上月	年度明星语言
5	C#	5.25%	▲ 0.52%	
12	Go	1.21%	▲ 0.19%	2016, 2009
13	Assembly language	0.94%	▼ 0.03%	
14	Perl	0.87%	▲ 0.05%	
15	MATLAB	0.84%	▼ 0.06%	
16	Ruby	0.81%	▼ 0.17%	2006
17	Scratch	0.72%	▼ 0.01%	
18	Rust	0.70%	▲ 0.06%	
19	PL/SQL	0.68%	▼ 0.06%	
20	Classic Visual Basic	0.66%	▲ 0.01%	

# 报告内容

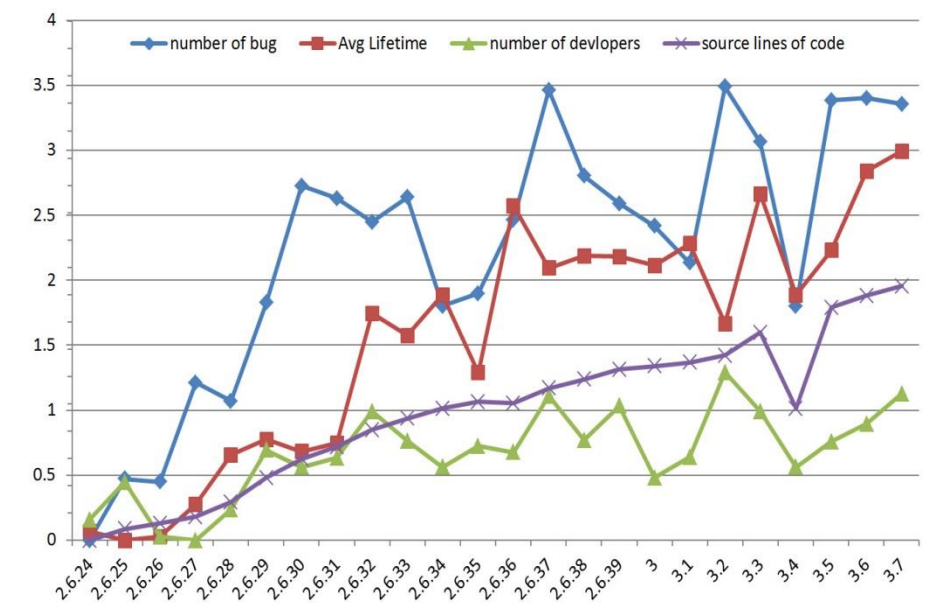
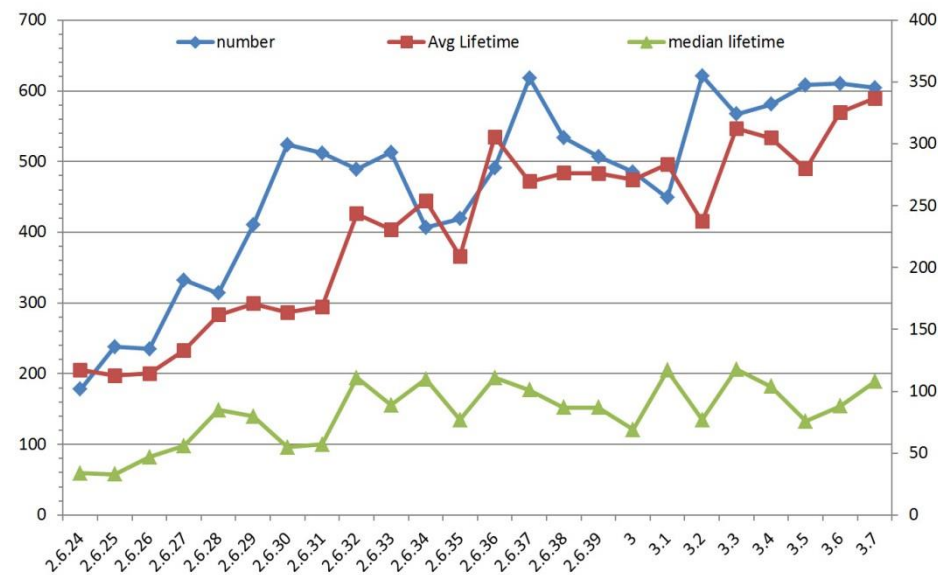
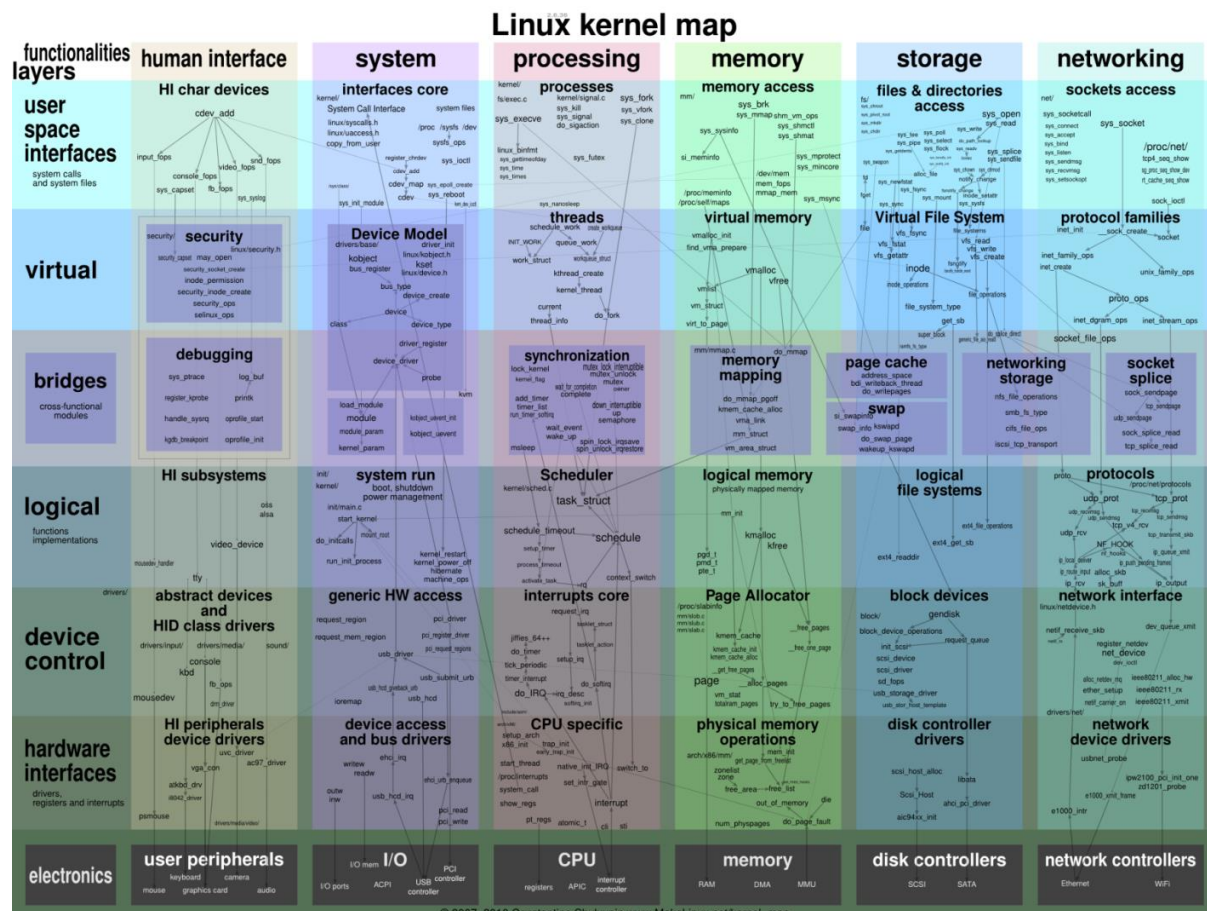
- 已有工作简介
- 当前OS/Arch/Lang的发展变化
- 当前操作系统的困难与问题
- 相关的研究
- 目标与当前进展



# 当前操作系统的困难与问题

## 问题与困难:

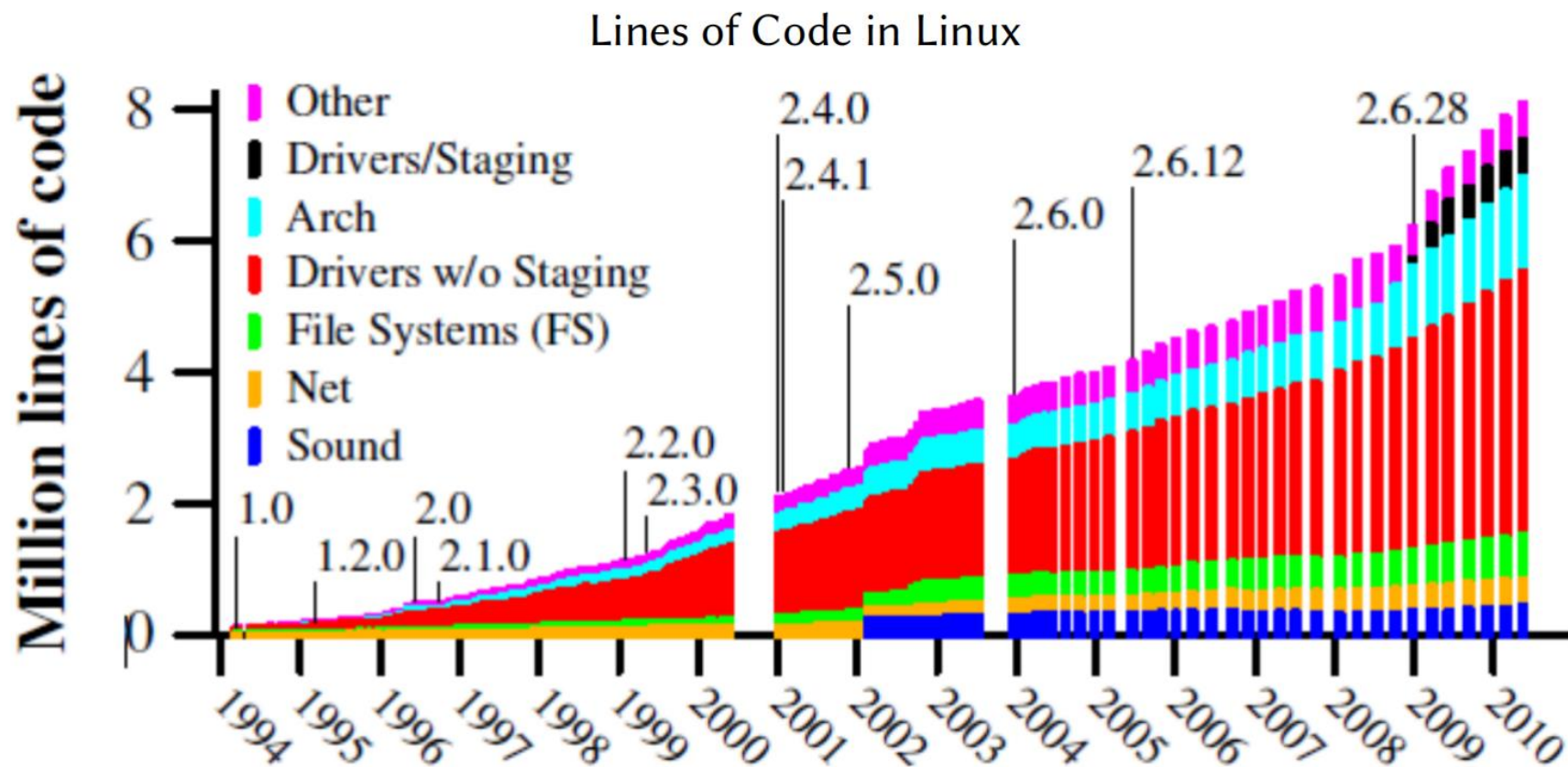
- OS太大太复杂, Linux有**3千万行左右C**为主的源代码
- Linux漏洞有扩大化的趋势
- 发现Linux漏洞难度加大





# 当前操作系统的困难与问题

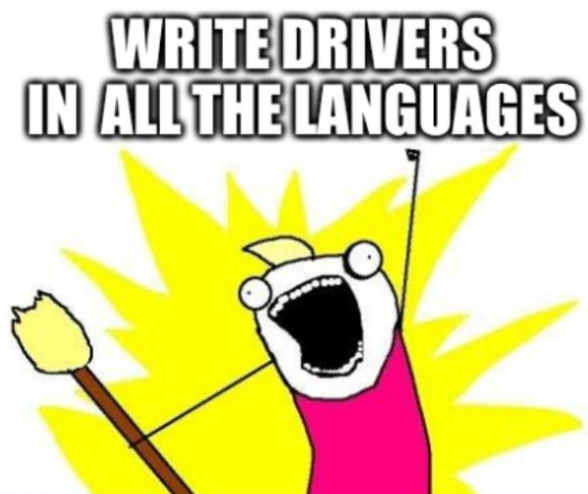
9 years ago



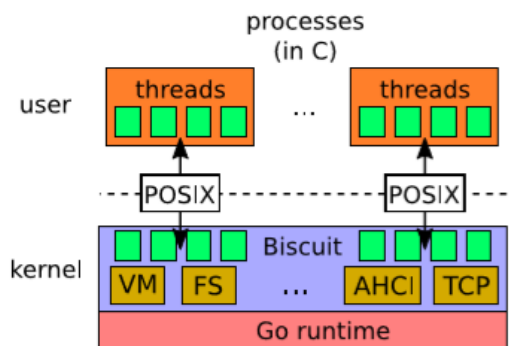
**Figure 1.** Linux directory sizes (in MLOC)

# 报告内容

- 已有工作简介
- 当前OS/Arch/Lang的发展变化
- 当前操作系统的困难与问题
- 相关的研究
- 目标与当前进展



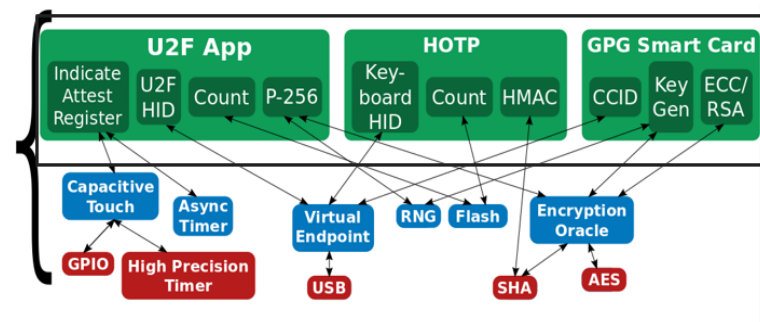
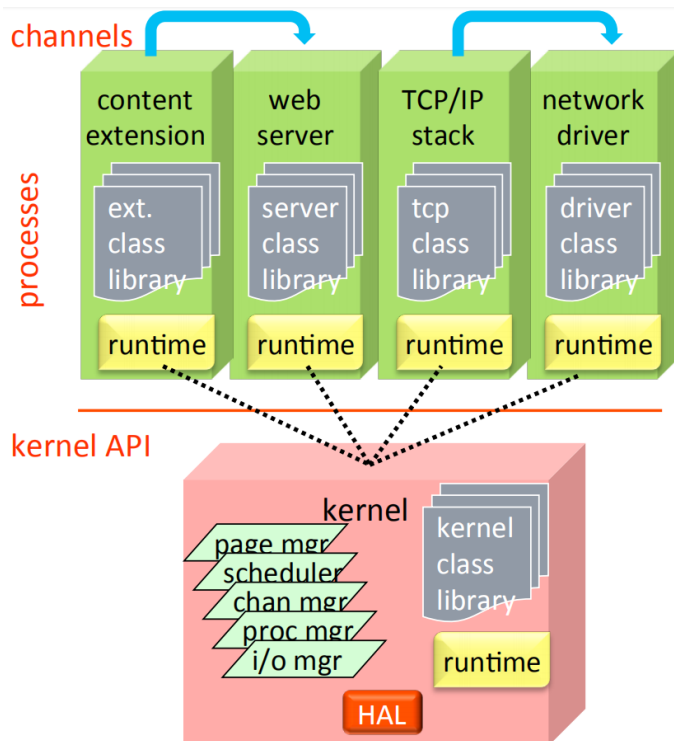
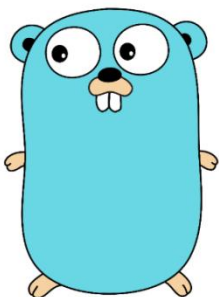
# 相关的研究



58 syscalls, LOC: 28k Go,  
1.5k assembly (boot, entry/exit)

MIT用Go语言开发了Biscuit OS  
OSDI'2018

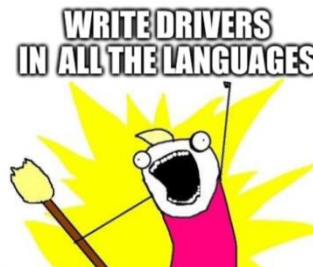
GOLANG



Stanford用RUST语言开发了  
tock OS, SOSP'2017

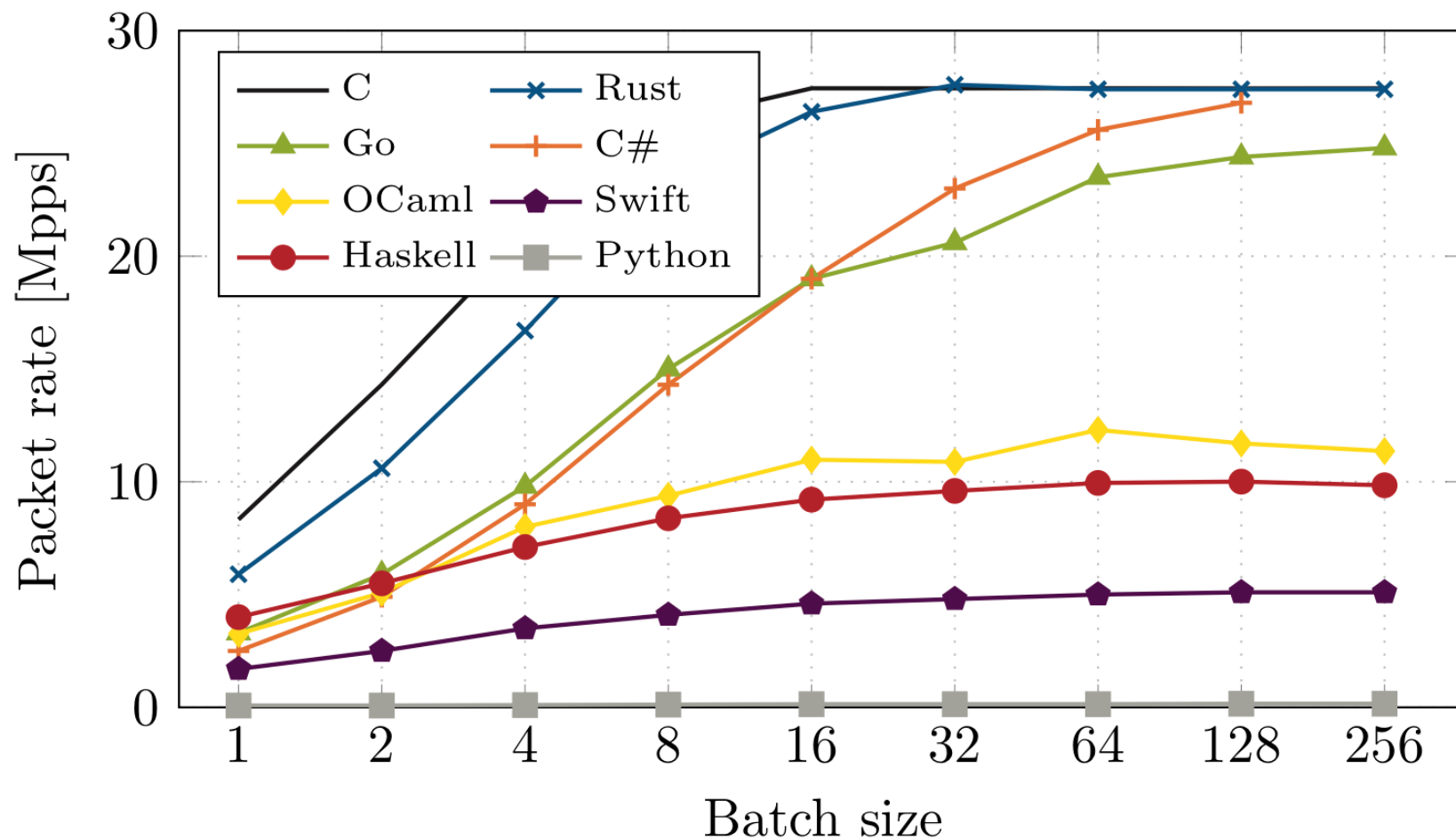


# 相关的研究



## Performance

CPU clocked at 3.3 GHz:



# 报告内容

- 已有工作简介
- 当前OS/Arch/Lang的发展变化
- 当前操作系统的困难与问题
- 相关的研究
- 目标与当前进展

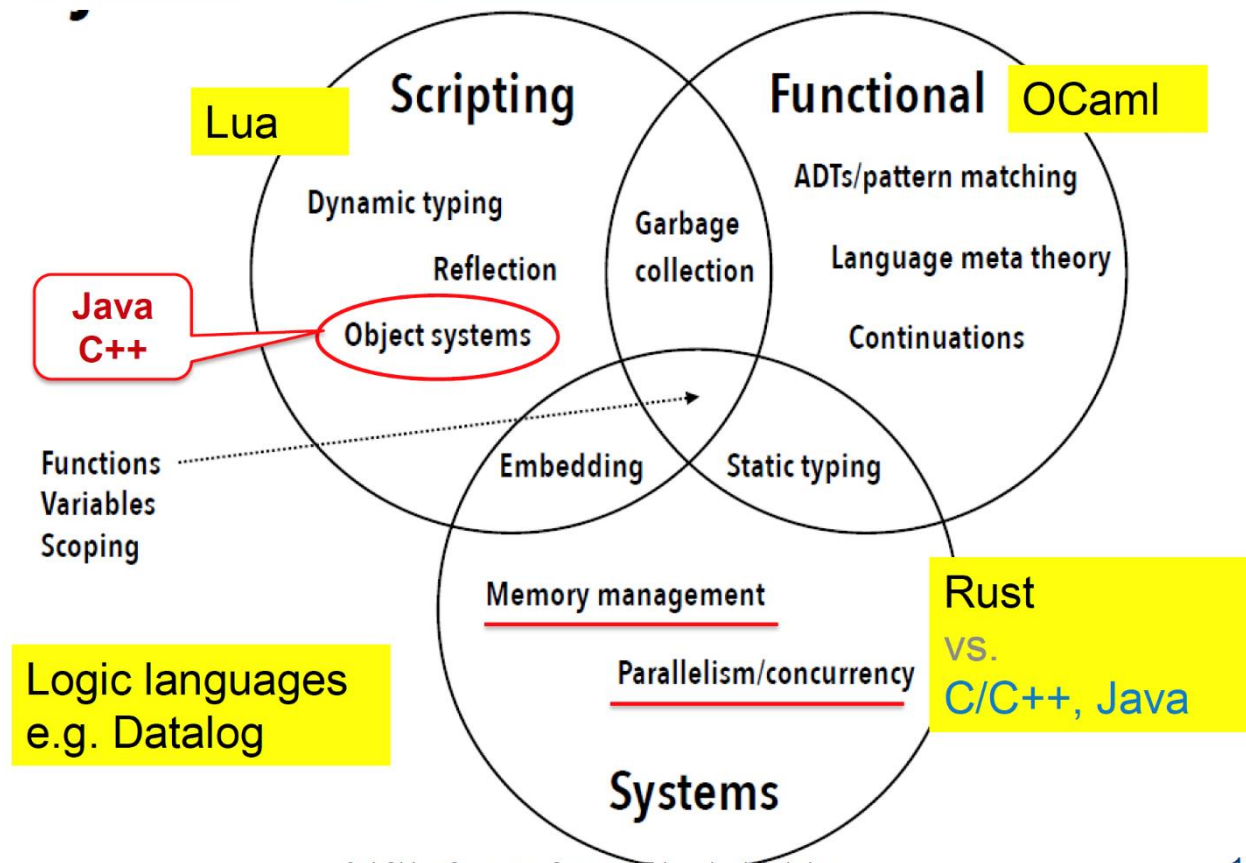
# 目标

- 操作系统

- 为何要新的OS?
- 能否用新的语言写OS?
- OS能否面向其他CPU?

## Selected PLs

中国科学技术大学  
University of Science and Technology of China



3rd China Computer Systems Education Workshop

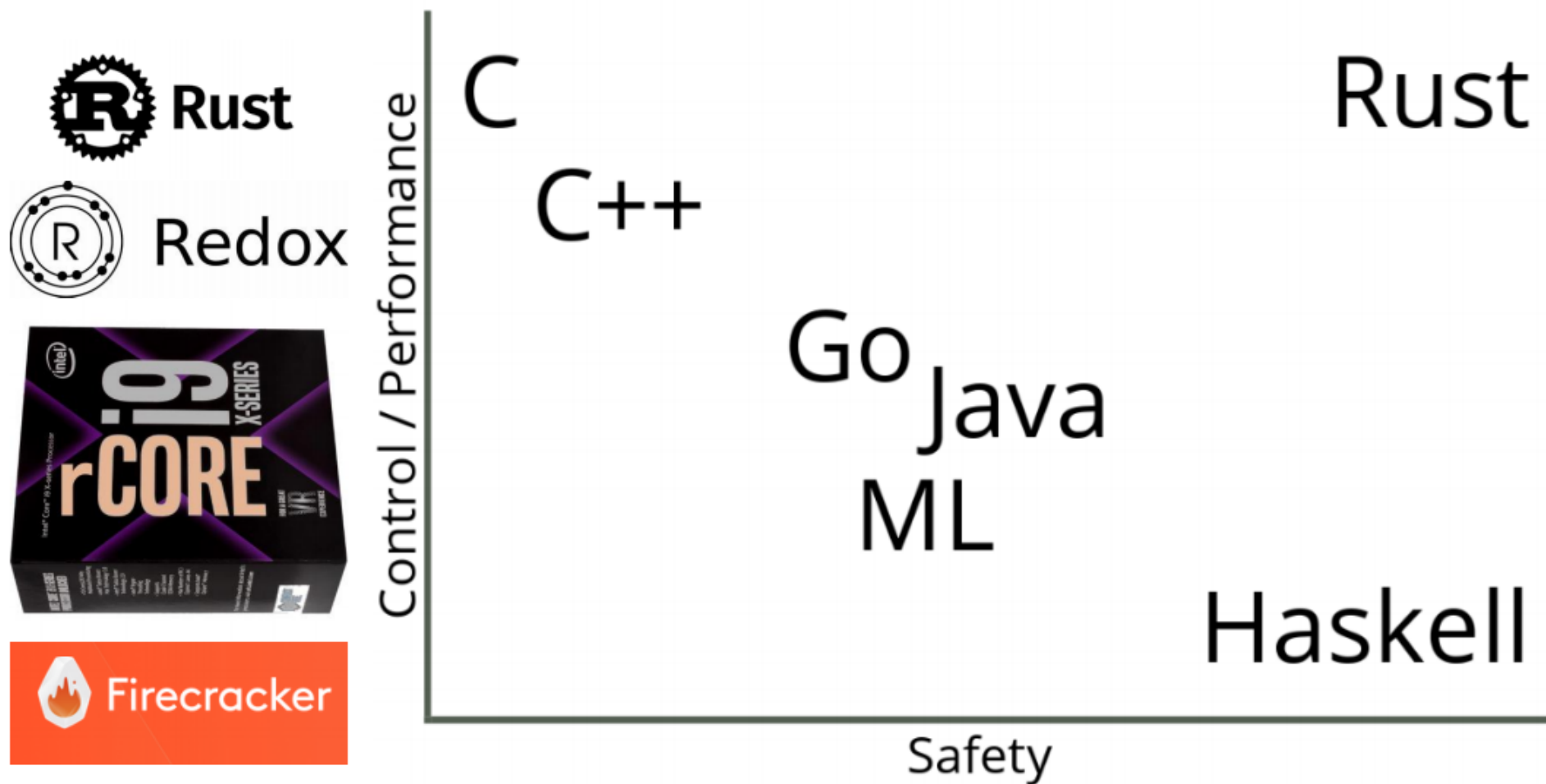
Yu Zhang, Foundation of PLs, CSEW'18 · Beijing



# 分析

Why?

OS的需求：安全+性能+编程效率+软件可扩展



# 分析

## 安全

- 主流 OS 用 C 语言编写
  - C 语言内存安全问题导致了大量安全漏洞
  - C 语言特性匮乏造成开发困难
- 近年来出现了 Rust 语言
  - 通过编译期检查，保证内存和线程安全
  - 引入现代编程语言特性，提高开发效率

## Rust 语言特性



### Pros

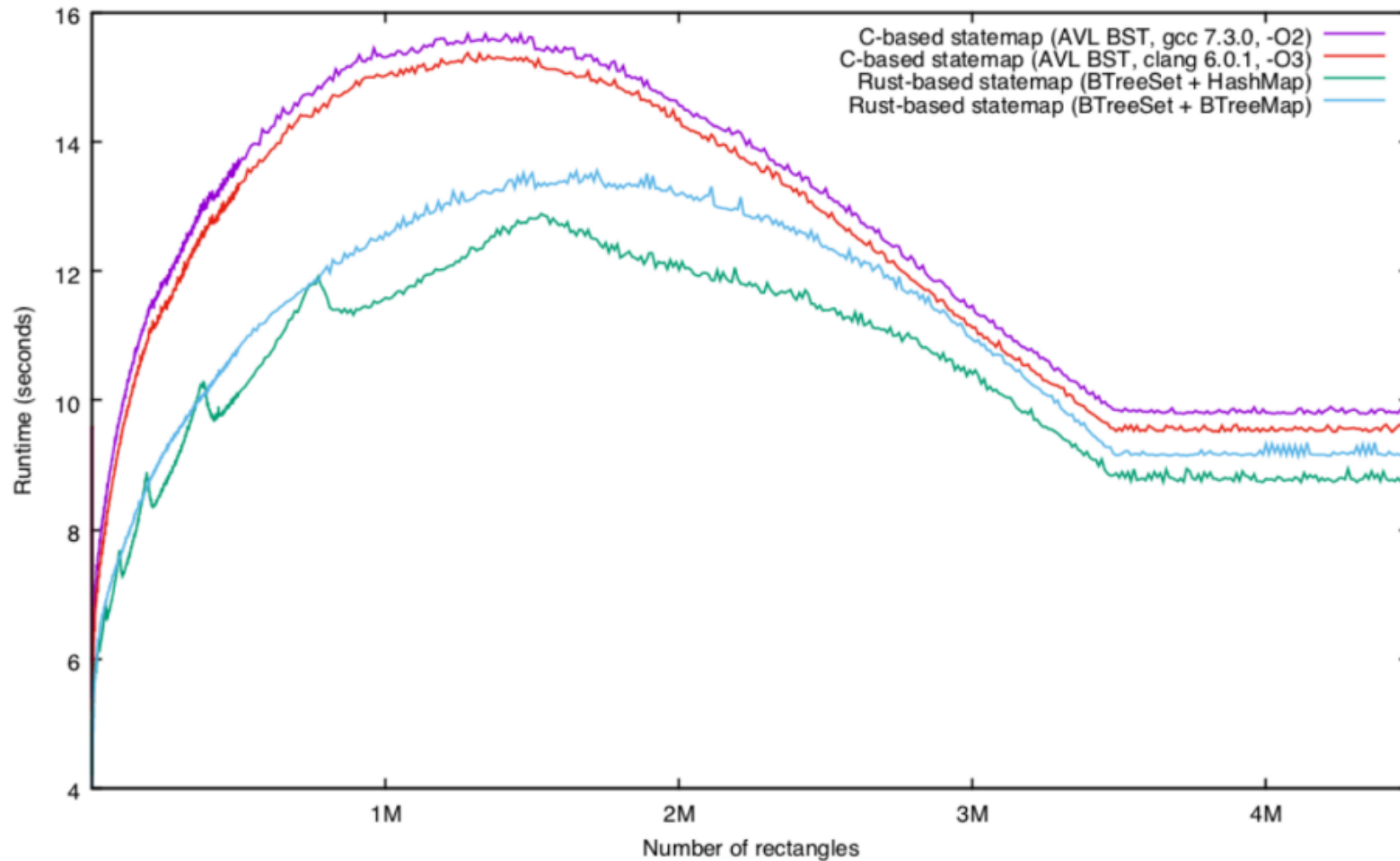
- 线程安全：Mutex
- 所有权：
  - 无需 free
  - 变量值安全
- 智能指针
  - Box
  - Rc

### Cons

- 学习曲线陡峭
- 与编译器作斗争
  - 所有权
  - 生命周期
- 大量 unsafe
  - 野指针访问
  - mut static

# 分析

## Rust Performance

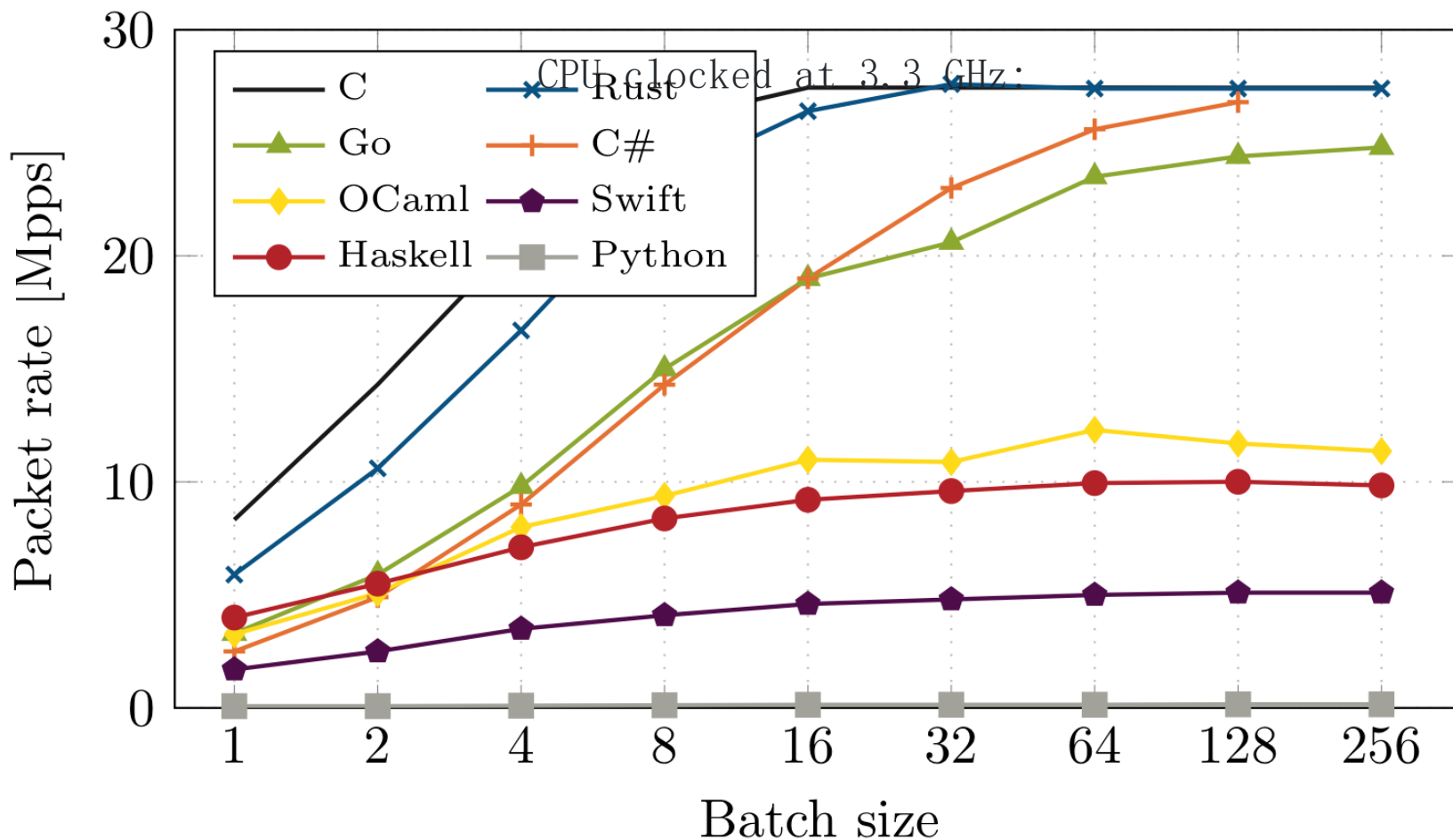


Source:

<http://dtrace.org/blogs/bmc/2018/09/28/the-relative-performance-of-c-and-rust/>

# 分析

## Rust Performance



用各种语言写的10Gb网卡驱动的性能评测

# 分析

## 编程效率+软件可扩展性

- Rust
  - 更现代的语法
    - 类型系统, 模式匹配, 功能强大的宏, trait
  - 支持std with os & no std with baremetal
- 软件架构
  - 用户态操作系统组件的接口设计
  - 操作系统内核对用户态操作系统组件的支持
  - 可同时运行在内核态和用户态的操作系统

# 研究进展

## Rust-based OS教学实践

<https://github.com/LearningOS/os-lectures>

- 始于2018年操作系统课程设计，参考BlogOS和uCore实现的类Unix单体内核架构的rCore。
- 目前支持运行原生 Linux程序，支持四种指令集和诸多物理平台。



Rust version of THU uCore OS. Linux compatible.



1.3k



190



# 研究进展

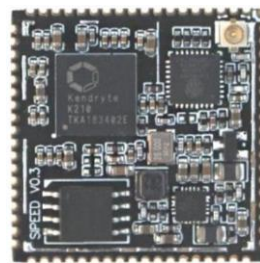
## Rust-based OS教学实践

### OS2018课程设计选题

序号	大实验题目	小组成员列表（姓名和学号）
2	<a href="#">Rust OS 上树莓派 USB 与 VideoCore IV 显卡驱动的移植</a>	贾越凯 2015011335 寇明阳 2015011318 孔彦 2015011349
3	<a href="#">Rust OS 多核移植与基于PARD框架的线程级Label管理</a>	王纪霆 2015011251
4	<a href="#">Rust OS wiki完善与教学lab实验的制作</a>	陈秋昊 2015011283 刘辰屹 2015011277 朱书聪 2015011322
5	<a href="#">Rust OS 参考sv6的多核实现和优化</a>	王润基 2015011279
6	<a href="#">Rust OS 移植到 rv64 及llvm编译器支持</a>	戴臻暘 2015011296
7	<a href="#">Rust OS 树莓派网络及声卡支持</a>	霍江浩 2015010611 吴昆 2015010625 范书沛 2015011202

### OS2019 课程设计相关选题

题目	成员
教学文档编写 && GBA	刘丰源、潘庆霖
第三届全国大学生系统能力培养大赛	陈晟祺、周聿浩
对标 Biscuit OS 真实应用真实网卡及性能测试	陈嘉杰、王润基
FPGA 上运行 RISC-V rCore 构建路由器	陈嘉杰、霍江浩
rCore 内核可加载模块和动态链接库	郭敬哲
Audio support for rCore	高天宇、王晓智
Python (and more) on rCore on RPi	陶东来、苏明贤



# 研究进展

## Rust-based OS教学实践

- OS Tutorial Summer of Code 2020活动

<https://github.com/rcore-os/rCore/wiki/os-tutorial-summer-of-code>

- 目的：探索把现代系统语言Rust和灵活开放的系统结构RISC-V带入到操作系统的架构与设计的创新中来，思考未来的操作系统应该是什么样。
- 鹏城实验室与清华大学举办：7月4日 ~ 8月31日
- 本次活动分为两个阶段
  - **rCore Labs Tutorial**（7月4日 ~ 7月31日）
  - **zCore操作系统实践与研究**（8月1日 ~ 8月31日）

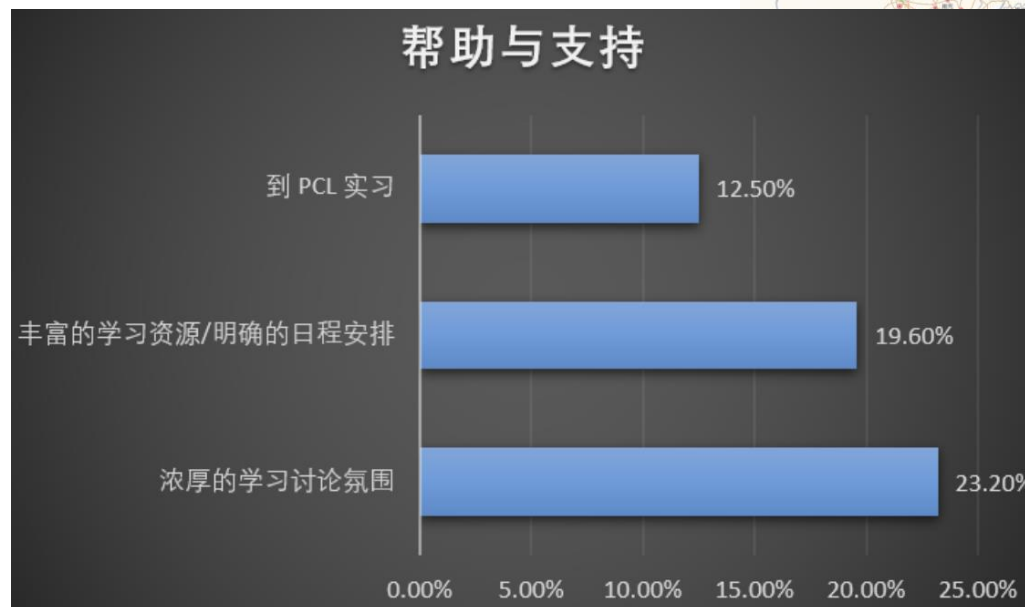
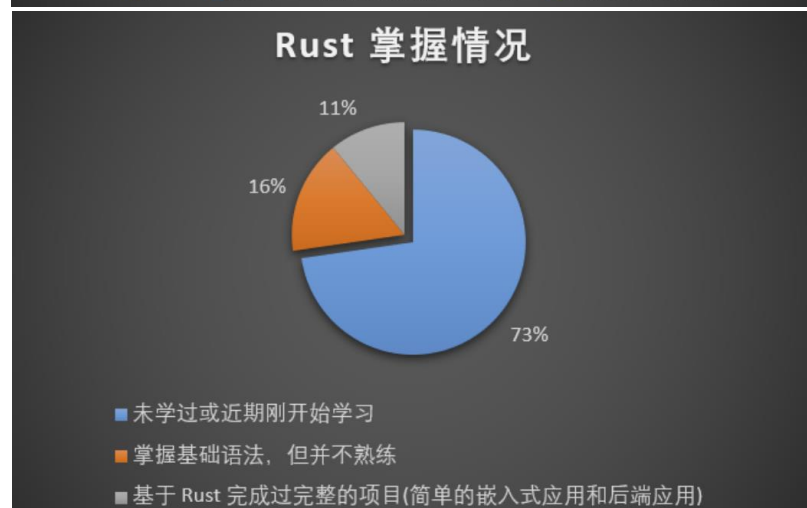
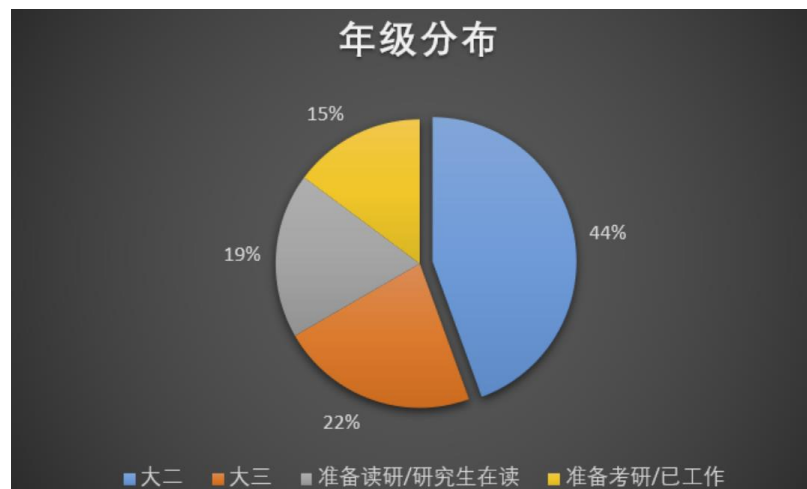
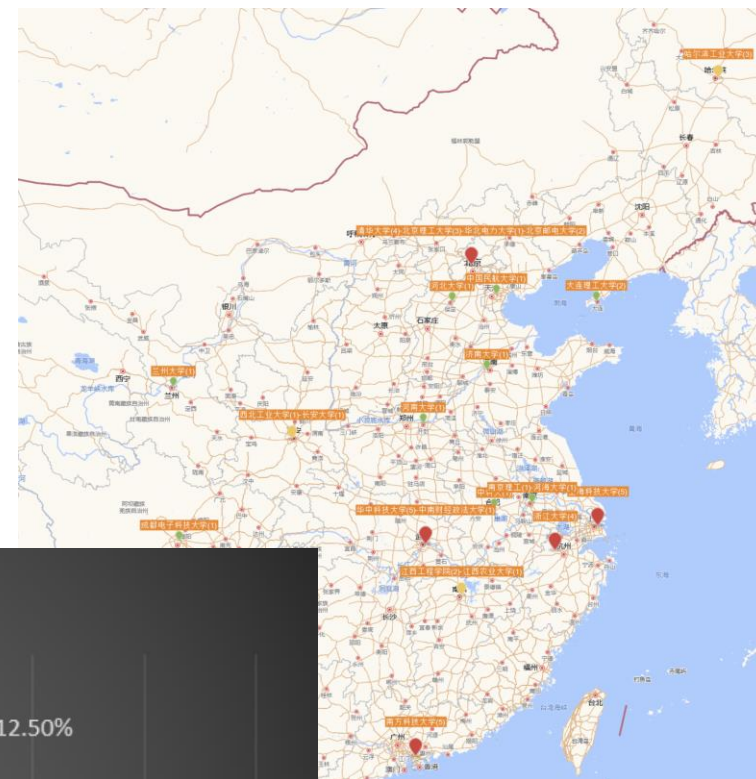


下一代 Rust OS: zCore 正式发布

# 研究进展

## Rust-based OS教学实践

52人，近20所高校



<https://github.com/rcore-os/zCore/wiki/zcore-summer-of-code>

# 研究进展

- 2021全国大学生操作系统比赛（第一届）

- 确定可用**Rust**语言进行OS内核开发
- 提供基于**Rust**语言的比赛选项
  - Terminus, Rust-xv6, zCore, RustSBI
- 推动国内高校的OS合作学习/科研兴趣



比赛官网：

<https://os.educg.net/>

github上的比赛信息：

<https://github.com/oscomp/os-competition-info/>

获得国内十多家操作系统、芯片、信息安全等公司的赞助与技术支持

谢谢！