

# 国产系统软件之路

申威语言环境与高校人才培养的思考

江南计算技术研究所

王飞

2018.11



# 引言/PREFACE



- **XPU时代，各类多核/众核/AI硬件迅猛发展**
- **E级时代+AI时代即将/已经到来**
- **国家对自主可控、安全可靠的需求越来越强烈**
  - **申威的“Hard”模式**
  - **亟需底层系统软件的尖端人才**
- **介绍国产申威平台语言与编程环境**
- **探讨对高校系统软件人才培养的需求**



01

长路漫漫求索——  
国产系统软件现状与思考

02

开启自主征程——  
申威平台及编程环境介绍

03

前路充满光明——  
继续开拓国产系统软件之路

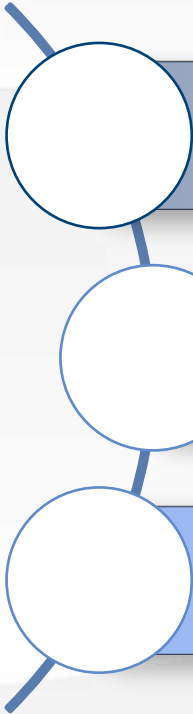
长路漫漫求索

01



# 国产系统软件现状与思考

# 国产系统软件现状与思考



系统软件，在艰难中成长

与国际先进水平有较大差距

国产平台与国产系统软件的必要性

## 系统软件，在艰难中成长

- 算法和应用关乎实际，受关注度高
- 底层芯片设计备受重视，核心技术



系统软件真正决定了芯片能否被用好，应用能否开发好，是“看不见”的幕后英雄！



- 系统软件结构复杂、研发难度大
- 经典系统软件发展成熟，难出成果
- 在提高生产力上缺乏更直观的衡量体系

通常作为处理器等芯片的工具，难以独立支撑系统级项目，缺少摸石头趟路的研究环境

## ➤➤➤ 与国际先进水平有较大差距

编译器是信息时代软件系统的基石，半导体技术和编译器/高级语言是信息化时代的双子星座

- **ACM设立的奖项**
- **Turing Award**
  - 50多年历史中有近1/3在“编译技术和程序设计语言”领域
- **Gordon Bell Prize**
  - 太湖之光上斩获两次
- **Software system Award**
  - 2017 : Jupyter ( 迭代编译 )
  - 2015 : GCC ( R. Stallman )
  - 2012 : LLVM ( C. Lattner )
  - 2008 : Eiffel编程语言 ( B. Meyer )
- **Ken Kennedy Award**
  - For Programming Language with Programmability and productivity in computing



- **异构/众核/AI时代 :**
  - 应用算法、编程支撑的研究相对滞后
  - 多核架构遗产代码的大量存在和应用
  - 影响 : **编程难度明显加大、遗产代码移植困难重重**

## ➤➤➤ 与国际先进水平有较大差距

---

- **国际高级别学术会议上发文情况**

- 全部计算机会议中，编译和语言领域顶级会议PLDI的影响力高居第三
- ASPLOS、POPL，PPOPP，CGO也都排在前20
- 2006年之前，国内CGO 1篇（来自Intel中国）、PLDI2篇（一篇来自intel中国、一篇非第一作者）、PPOPP2篇（两篇都来自Intel中国）、POPL为0

以上数据摘自《从ACM会议论文数量看差距》——中国计算机学会通讯2006年9月 第五期

- 最近这几年，在国际高级别学术会议上，国内的顶尖大学有了长足的进步，发文数量增幅明显。



## 》》 国产平台与国产系统软件的必要性

---

- **XPU时代，各类多核/众核/AI硬件迅猛发展**
- **E级时代和AI时代到来，高性能计算领域呈现HPC+AI的趋势**
  - 亟需掌握操作系统和编译底层的软件人才
- **国家对自主可控、安全可靠的需求越来越强烈**
  - 俄罗斯、印度等全力推进自主可控计算和网络信息安全体系
  - 国产“芯”是核心，国产系统软件生态链是决定生死的关键
- **申威的“Hard”模式**
  - 习主席强调：市场换不来核心技术，钱也买不来核心技术，要坚持自主创新，增强核心基础产品和国防关键技术自主可控能力
  - 从0开始，打造自主知识产权的芯片和系统软件

## 国产处理器：代表核心技术、更关乎信息安全

- 嵌入式芯片、PC处理器、高性能处理器、AI芯片是各种计算机的核心所在
  - 我国高性能计算机快速发展起步于上世纪八十年代，三十多年来，既有曙光、浪潮、联想等产业优势企业，也有“曙光”、“银河”、“天河”、“神州”、“神威”等超级计算机品牌，整体技术和性能已进入国际领先行列
- 中兴事件、晋华事件……，技术封锁涉及微处理器、人工智能、存储、机器人、量子计算等各大新兴技术领域，西方极力遏制中国核心技术发展
- 核心技术自主可控已刻不容缓！



Recently the American Department of Commerce issued a public notice prohibiting the export of "xeon" supercomputer chips to China.

**Administration:**  
FR Doc. 2015-08229 Filed 2015-04-16; 8:45 AM  
BILLING CODE 3010-01-P

**DEPARTMENT OF COMMERCE**  
**Bureau of Industry and Security**  
**15 CFR Part 744**  
**[Docket No. 141230999-4999-01]**  
**RIN 0604-AG46**

**Addition of Certain Persons to the Entity List, and Removal of Person From the Entity List Based on a Removal Request**

**AGENCY:** Bureau of Industry and Security, Commerce.  
**ACTION:** Final rule.

**Federal Register / Volume 80, Number 80, Wednesday, April 22, 2015**

**Section:** Specifically, NITF has used U.S.-origin multicores, boards, and components to produce the TianHe-1A and TianHe-2 supercomputers located at the National Supercomputing Centers in Changsha, Guangzhou, and Tianjin; the TianHe-1A and TianHe-2 supercomputers are believed to be used in nuclear explosive activities as described in § 744.2(a) of the EAR. The ERC also determined that seven persons being added to the Entity List

**Section:** security or foreign policy interests. Certain exports, reexports, and transfers (in-country) to entities identified on the Entity List require licenses from BIS and are usually subject to a policy of denial. The availability of license exceptions in such transactions is very limited. The license review policy for each entity is identified in the license review policy column on the Entity List and the availability of license exceptions is noted in the license review policy column on the Entity List and the availability of license exceptions is noted in the license review policy column on the Entity List.

**Section:** User and End-User Restrictions (EUS) and Other Restrictions (OER) of the EAR. The restrictions of representatives of the Department of Commerce (DoC), State Department, Energy and

**Section:** interests of the United States. The ERC determined that the National University of Defense Technology (NUDT), the National Supercomputing Center in Guangzhou (NSCC-GZ), and the National Supercomputing Center in Tianjin (NSCC-TJ), all located in the People's Republic of China, meet the guidelines listed under § 744.1(b). Entities for which there is reasonable cause to believe, based on specific and articulated facts, that an entity has been involved, is involved, or poses a significant risk of being or becoming involved in activities that are contrary to the national security or foreign policy interests of the United States and those activities are listed on the Entity List pursuant to this

**Section:** Rules and Regulations 8525

**Section:** Removal From the Entity List

**Section:** This rule implements a decision of the ERC to remove one person, SATCO GmbH, located in Germany, from the Entity List on the basis of a removal request by a company of the same name as the listed person. Based upon a review of the information provided in the removal request in accordance with § 744.16 (Procedure for requesting removal or modification of an Entity List entity), the ERC determined that

开启自主征程

# 02

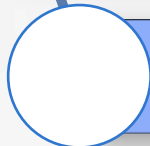


## 申威平台及编程环境现状

# 申威平台及编程环境现状



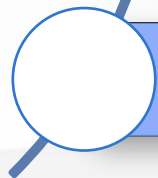
申威多核与众核处理器



申威平台语言与编程环境



申威向HPC+AI的拓展



申威平台在自主道路上成绩斐然

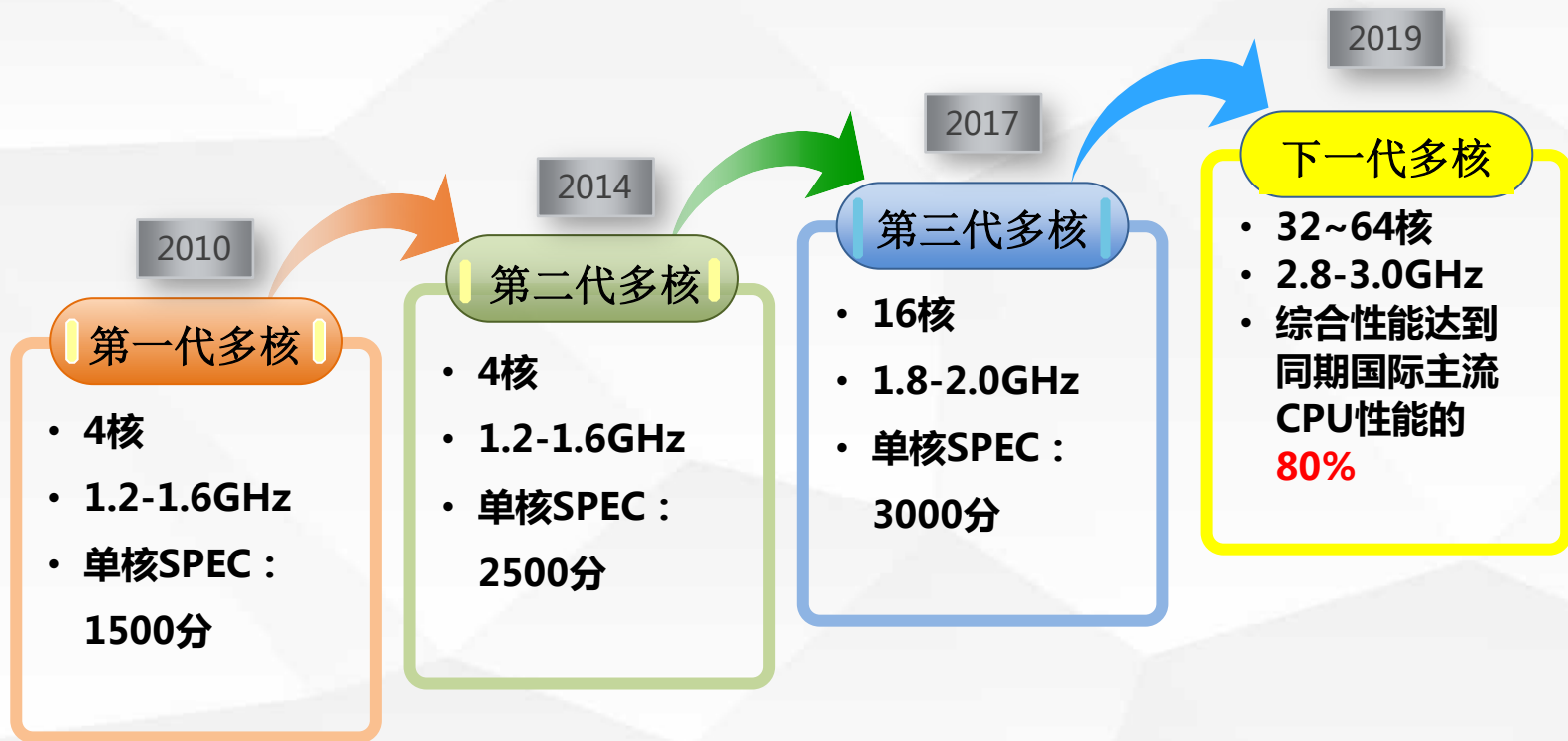
## 申威芯片自主创新能力

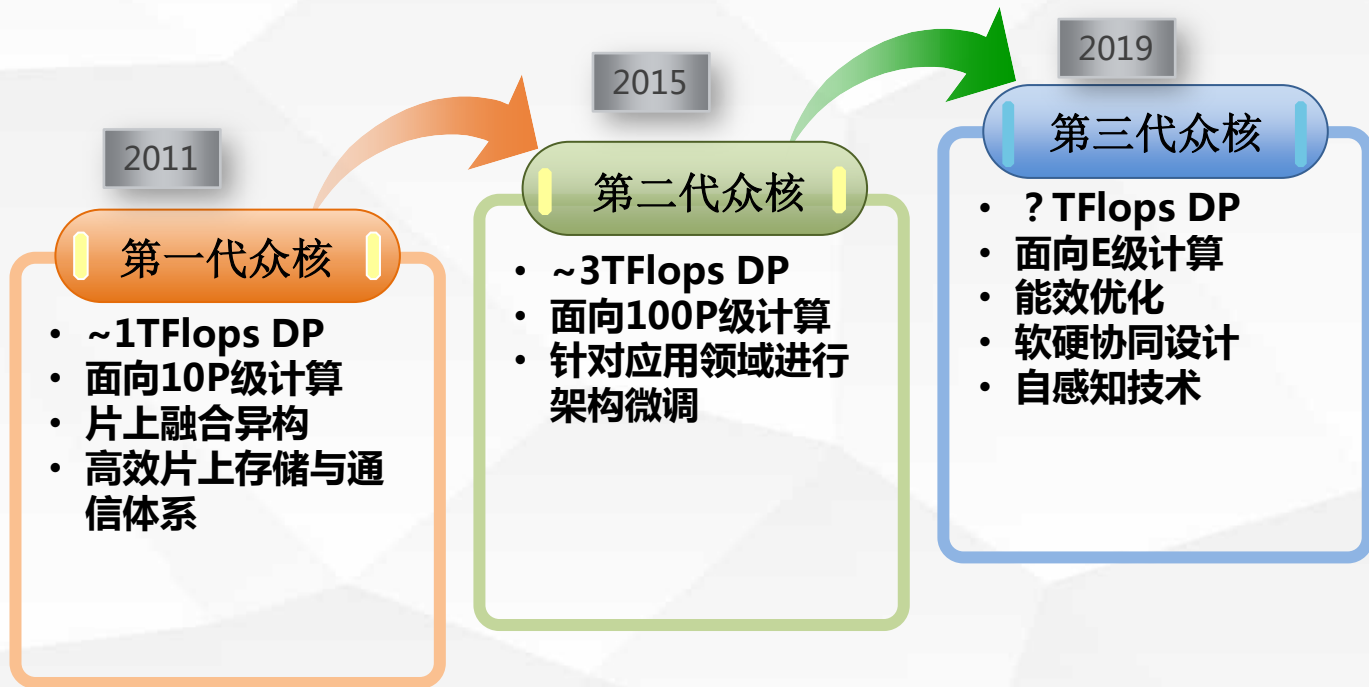
- 架构设计能力：掌握芯片架构设计，众核处理器架构设计世界并跑、领跑
- 自主指令系统：功能完备，技术先进，完全知识产权，没有被制裁、停授权风险



- 工业和信息化部软件与集成电路促进中心（CSIP）对申威指令系统的鉴定结论是：  
“申威指令系统是一种与之前常见指令系统（ALPHA指令集、MIPS指令集、ARM指令集、INTEL X86指令集、POWER指令集）不同的自主指令系统”。申威架构有别于引进CPU架构，是完全自主的架构，知识产权和自主研发能力不受限制。

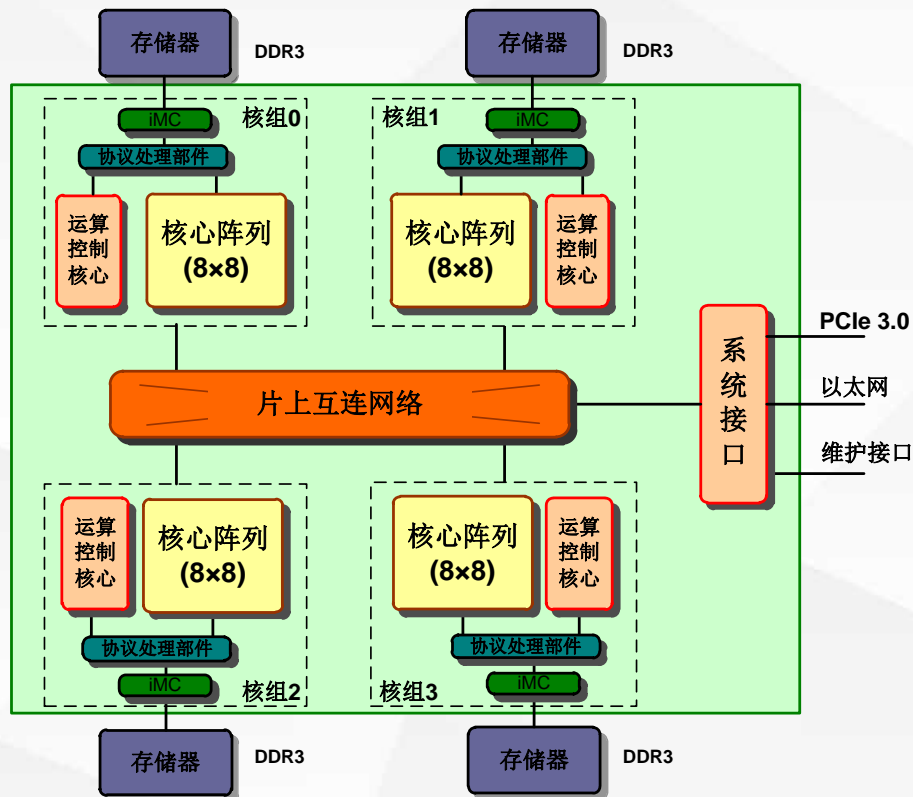
# 申威多核处理器





## 申威众核处理器的创新架构设计

- 片上异构众核，包含260个核心，4个运算控制核心、256个运算核心，分成4个核组
- 自主设计的指令集
- 复杂的多层次存储结构
  - 全片共享空间
  - 核组空间
  - 运算核心片上软件管理便签存储器
- 打造高标准自主申威基础软件生态链面临重大挑战！





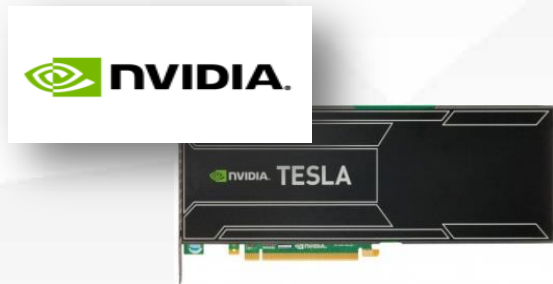
## 众核架构≠通用，与现有应用的适配还存在巨大鸿沟

### 单核=>多核=>众核，体系结构发生巨变

- 计算能力>>访存能力
- 大量精简计算核心
- 复杂的存储层次结构、便签式存储
- 核间核内通信协议复杂多样
- 大量应用遗产代码通常还依赖单核频率的提升
- 如何应对这种巨大的差异？

—— 得靠系统软件铺路搭桥

不光是申威众核，这也是包括GPU、MIC等在内的众核面临的共同问题



## 申威平台语言与编程环境

2002年至今，50多人的开发团队，为国产处理器研发系统软件深耕，坚持自主创新，突破了操作系统和编译器等基础系统软件国产化的核心技术

- 支持编程语言
  - C、C++、Fortran
  - JAVA、Golang
- 基础编译器
  - OPEN64->SWCC
  - GCC->SWGCC
  - LLVM->SWLLVM
- 并行编译器
  - MPI、UPC
  - OpenACC、OpenMP、OpenCL

### 并行语言环境

- ◆ MPI
- ◆ UPC

- ◆ OpenACC
- ◆ OpenMP
- ◆ OpenCL

- ◆ Eclipse
- ◆ GDB

### 基础编译支撑

#### 基础编译器

- ◆ C、C++、Fortran
- ◆ JAVA
- ◆ Golang

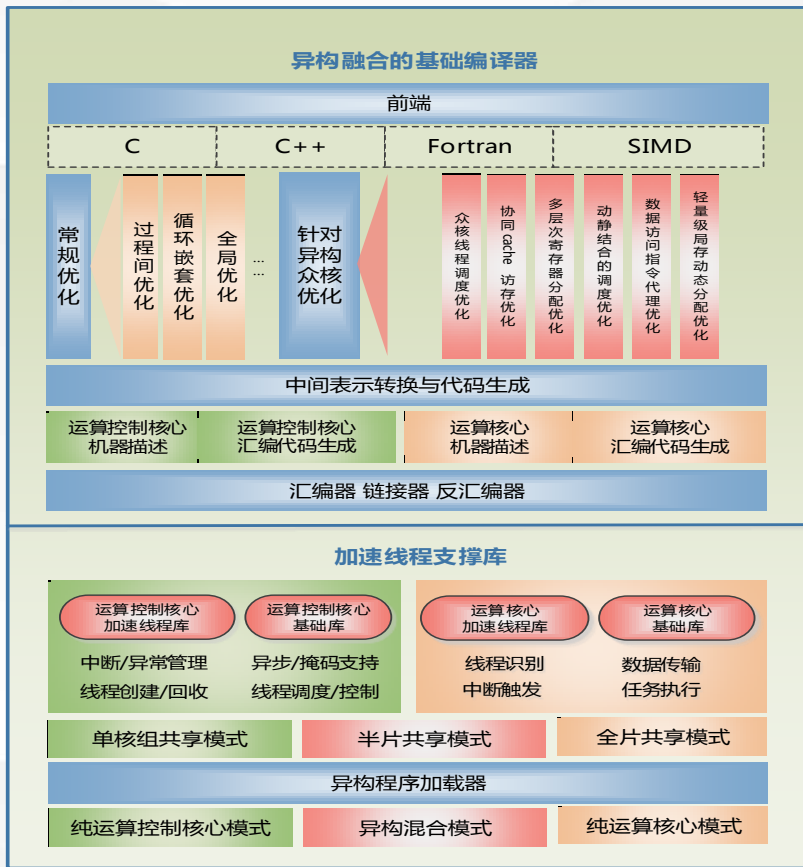
#### 基础工具链

- ◆ C库、数学库
- ◆ Binutil
- ◆ Athread

#### 自动向量

- ◆ SLP级向量化
- ◆ 循环级向量化
- ◆ 向量代码优化

# 异构融合的基础语言编译器



## 面向异构的编译与代码生成技术

- 支持C、C++、Fortran和SIMD扩展
- 支持多级存储层次描述与众核加速编程模型
- 支持异构融合的编译、优化和代码生成

## 面向众核的编译优化

- 协同Cache数据访存优化
- 性能与功耗均衡的优化
- 动静结合的指令调度优化
- 轻量级局存动态分配优化

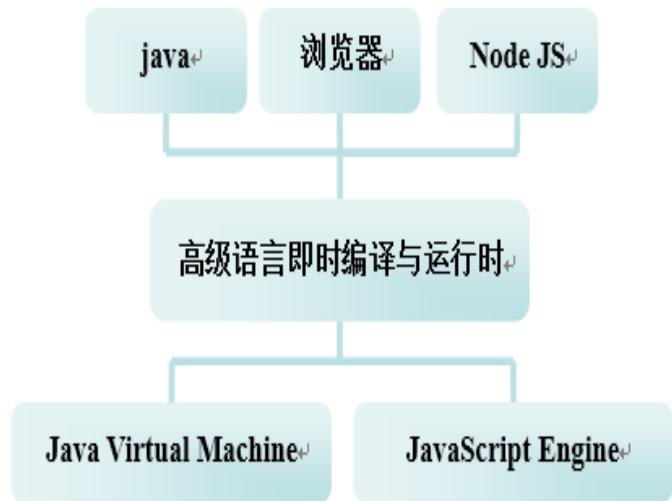
## 从OPEN64->GCC的升级

- 支持不断发展的语言新标准
- 支持最新的编译优化技术

# 基础编译器SW-LLVM

- SW-LLVM
  - 全时优化
  - 提供丰富的库和API接口，是AI框架编译器的底层基础
  - 支持JIT编译模式和AOT编译模式





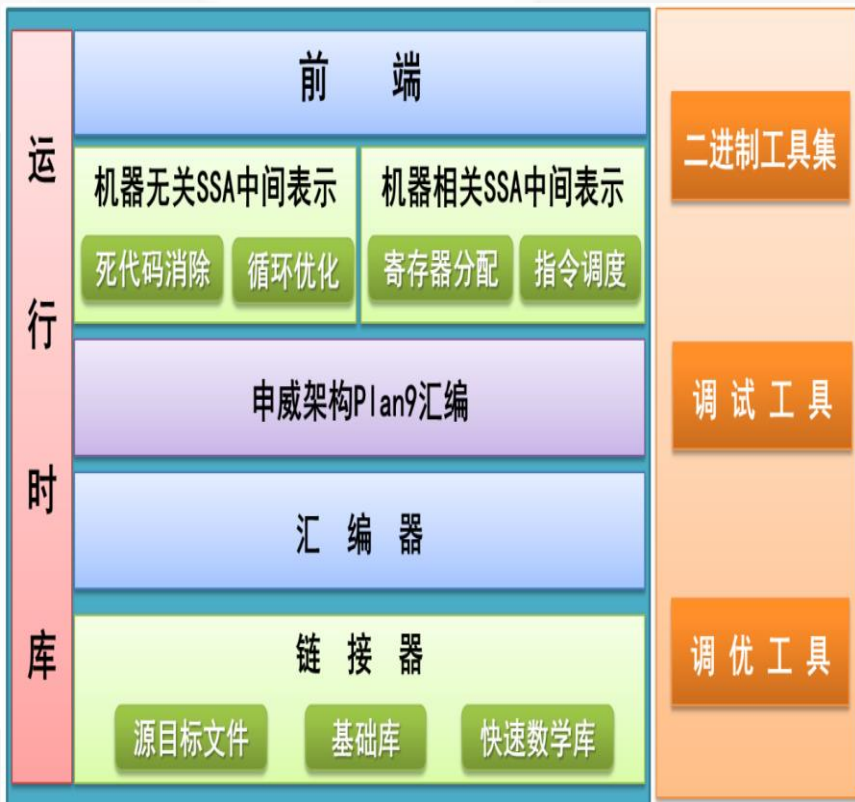
## • 支持Java、JS等语言跨平台运行的基石

- Java虚拟机
  - Oracle HotSpot
  - IBM J9
- JavaScript引擎
  - Google V8
  - Mozilla Firefox SpiderMonkey

## • 技术特点

- 高效的基础+即时编译的多层运行时优化
- 面向自主处理器系统的即时编译器
- 面向大内存低延迟的垃圾回收
- 面向多路多线程并发模式下的低开销同步优化
- 语言虚拟机博大精深，SW远未融会贯通可自主创新，全系列产品化、深度优化等任重道远

# 针对Go语言的Golang编译系统



- **Golang编译系统框架由前端、机器无关的SSA中间表示、机器相关的SSA中间表示、申威平台的Plan9汇编、汇编器、链接器、标准库、二进制工具集组成。**
- **技术特点**
  - **针对申威的架构无关SSA转换为架构相关SSA的规则生成技术**
  - **针对申威架构的Plan9中间代码到机器码的汇编与链接实现技术**
  - **针对申威架构的运行时库支撑技术**
  - **针对申威指令结构的基础库优化技术**

## 异核众核编程模型

- 异构深度融合的加速运算模型



采用MPI+X的编程方式，X可以是OpenMP、OpenACC、Athread

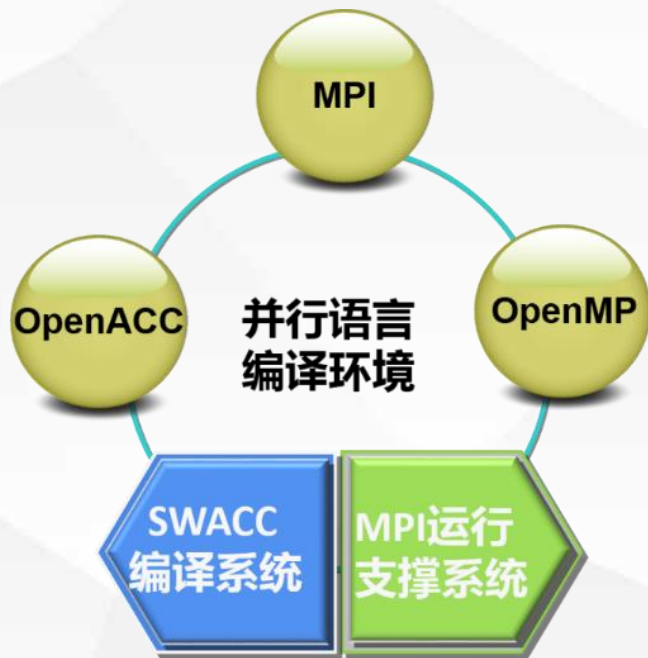
完整支持对申威异构众核各存储层次、并行层次的抽象描述

进程与加速线程共享存储空间，编程更方便

支持消息、共享和加速运算的组合，有利于开发高效的并程序

## 并行语言编译环境

- **并行语言编译环境**
  - MPI和OpenMP：在科学计算领域应用，是科学计算的传统语言
  - OpenACC语言：是一种新型众核处理器语言，异构计算领域应用较为广泛
- **技术特点**
  - 提供通用的语言支持
  - 支持MPI-1/MPI-2/MPI-3标准
  - 支持OpenMP3.0、兼容OpenACC2.0
  - 有效解决众核编程和应用移植难题
  - 高效支撑大规模异构并行





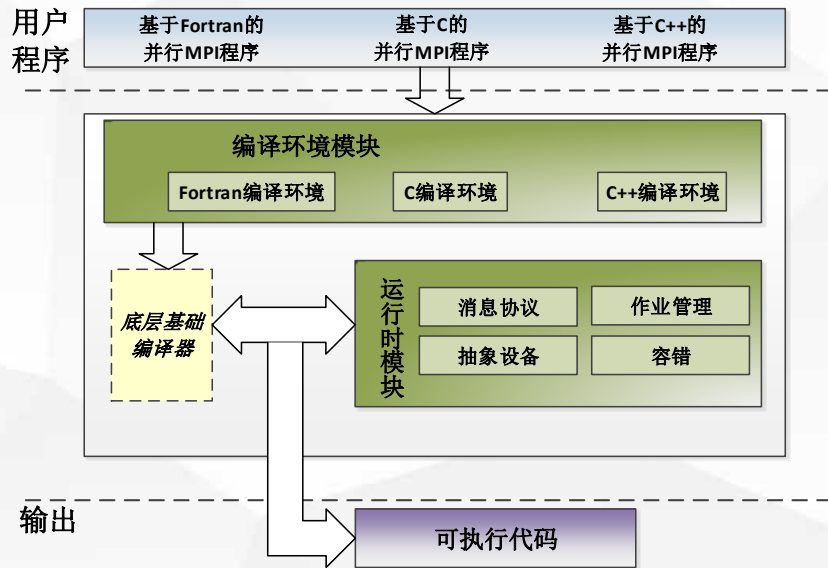
# MPI运行支撑系统

## 功能特点

- 支持MPI3.0标准
- 支持SPMD、MPMD等多种并行模式
- 支持OpenACC/OpenMP混合编程

## 技术特点

- 高效可靠的并行消息快速启动
  - 基于作业级全局资源视图，快速实现全局通信上下文构建
- 基于异构众核平台的邻近通信优化
  - 空闲计算核心聚合访存优化
- 基于拓扑感知的集合通信优化
  - 感知物理节点之间的通信耦合强度，实现精细化调度
- 用户深度定制的通信支撑环境
  - 兼顾通信性能的同时有效节约系统内存开销

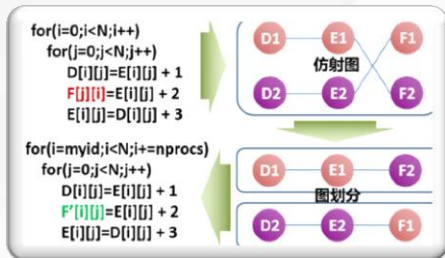


# 面向众核的并行语言编译优化

- 计算所需数据高效映射到众核LDM，是提升性能关键！

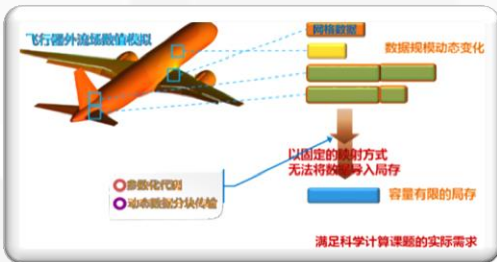
## 基于仿射分析的数据分布技术

采用高效的仿射图数据对齐算法，实现计算所需数据在众核局存高效自动映射



## 数据规模自适应的空间重分布技术

采用动态数据分块映射和传输方法，解决科学计算中规模动态变化的数据高效映射问题



### 分布分析

- 支持多种访问模式：  
线性访问、边界访问  
跨步访问、固定位置

### 数据映射

- 数据规模动态自适应

### 性能提升

- 最大性能提升约24倍

# 申威向HPC+AI的拓展



申威  
人工  
智能  
基础  
软件  
栈

## • SW-AI编译器

- 成为AI编程框架到申威的桥梁
- 避免框架移植的复杂度和难度
- 体系结构相关优化可在各种框架开发的AI模型上复用

## • SW-AI共性支撑库

- 符合通用DNN接口规范
- 面向申威架构专门定制
- 面向申威架构深度优化

## SW-AI编译器：面向申威平台的人工智能框架编译器



- 将多种AI编程框架开发的模型转化为统一的计算图
- 在计算图上实现领域算法相关优化
  - 节点融合、数据布局优化
- 计算图转化为底层IR，并实现体系结构相关优化
  - 内存分配、调度、核组并行、向量化
- 面向国产众核处理器的代码生成
  - 申威基础编译器+基础算子库

## 申威在自主道路上成绩斐然

代表国家持续保持高性能计算领先地位，同时注重高性能计算技术辐射和应用，以自主可控的处理器、软硬件设计和工艺制造技术为核心支撑，不断提升我国自主可控信息化系统建设水平。

基于申威处理器的国产信息系统先后进入国产军用关键软硬件合格产品名录和中央政府采购名录。



小型机



服务器



PC



笔记本



中央政府采购网  
www.zycg.gov.cn

国产军用关键软硬件  
合格产品名录

党政办公电子公文  
处理工业控制等领域

前程充满光明

03

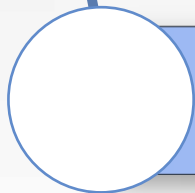


继续开拓国产系统软件之路

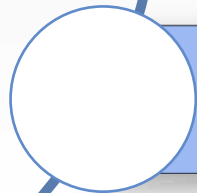
# 继续开拓国产系统软件之路



自主之路充满挑战，需要更多力量



系统软件人才培养从高校开始



国产系统软件前景广阔

## 自主之路充满挑战，需要更多力量

### 申威系统软件的不足

- 人力投入与工作量/难度的矛盾
- 工程的时效性与研究的前瞻性的矛盾
- 软件的开放性与申威自成体系的矛盾

申威系统软件研发团队：几十人的规模

英伟达：9000+人，实际是一个软件公司

IBM：500+ XL编译器开发人员

Intel：intel中国团队做C++前端就有30多人

这些商业公司除了大量的人力投入闭源软件，还有专门队伍投入到开源系统软件构建，打造属于自己的生态系统



又一个Bug?

系统软件  
研发人员

- 国内对开源软件往往拿来稍微改动部分代码包装一下就变成了自己的软件产品，缺乏对代码的全面消化吸收，对开源项目缺乏主导……

——陈左宁院士：  
《我国自主可控发展的对策  
建议》



## 自主之路充满挑战，需要更多力量

### 需要加大投入，联合更多力量

- 坚持产业化引导，申威逐步走向开放
- 建立符合市场规律和自身特点的申威产业生态体系
- 产、学、研结合，众人划桨开大船

欢迎并期待与老师和同行们进行深入的交流合作！

总书记对自主可控与开放关系的重要讲话：

必须解决自主可控问题，尤其在核心领域实现弯道超车，但是核心领域的自主可能应该在开放的状态下，与世界携手共进的状态下进行

## 系统软件人才培养从高校开始

### 软件人才培养，大学教育至关重要

- 从大学毕业23岁到33岁，是软件研发人员的黄金十年！
- 培养一个优秀的软件人才，需要在三大基本能力上精雕细琢！

#### 1、基础理论知识水平

- 合理课程设计和安排，构建完整的计算机理论知识课程体系
- 一个软件人，不能只会编程，要了解底层芯片知识，要懂得编程语言环境，要掌握基础算法设计，更要具备相当的数学素养
- 语言和编译课程设置中对众核编程的涉及还不够
  - 众核不止GPU和MIC，申威众核
- 无须“全栈”都通，但要“全栈”都懂，一个合格的“码农”不简单！

## 系统软件人才培养从高校开始

### 软件人才培养，大学教育至关重要

- 从大学毕业23岁到33岁，是软件研发人员的黄金十年！
- 培养一个优秀的软件人才，需要在三大基本能力上精雕细琢！

### 2、工程实践能力

- 当前教材抽象难懂，有点脱离实际
  - 如编译器老教材侧重词法语法分析，对优化和后端代码生成部分讲的很少，与现实编译器也有一定距离
- 建议增加小型实践课程
  - 比如基于LLVM实现一个简单的后端代码生成，并可在模拟器上运行编译代码
  - 目前很热的AI框架和AI框架编译器代码量相对较少，对领域相关的语言DSL进行针对性的中间表示设计与优化，具备理论体系和实践环境

## 系统软件人才培养从高校开始

### 软件人才培养，大学教育至关重要

- 从大学毕业23岁到33岁，是软件研发人员的黄金十年！
- 培养一个优秀的软件人才，需要在三大基本能力上精雕细琢！

### 3、综合能力素质

- 现实世界中的软件开发，都是团队协作，规模庞大、结构复杂的系统软件，只能团队协作
- 建议课程设计注重团队协作能力
  - 比如设计一个有一定规模和复杂度的大作业，要求5-10人的团队完成
  - 考察各成员的分工情况、组织架构和协作能力！
- 其他能力素质培养
  - 自找乐趣的科研能力、刨根问底的钻研能力、热爱思考的创新能力和吃苦耐劳坐得住的意志力

## ➤➤ 国产系统软件前景广阔

---

- ◆ 理论与实践上我们需要付出更多努力来紧跟时代的发展
- ◆ 希望与在座的老师和同行们携手奋进，发展一支稳定的系统软件研制团队！
- ◆ 打造具有真正自主知识产权，引领时代发展的国产系统软件！

# 谢谢

内部交流，未经允许不得转载

部分模板、图片、素材来自互联网，版权归原所有人