

# 自主CPU发展道路

胡伟武

龙芯中科技术有限公司

中国科学院计算技术研究所

# 我国计算机事业的发展阶段

- 第一阶段（1950-1980）：**完全自主但没有市场**
  - 1956年成立中科院计算所：十二年规划的四大紧急措施之一
  - 在封锁的情况下打破封锁，为“两弹一星”研制计算机
- 第二阶段（1980-2010）：**完全市场化但丧失自主性**
  - 以联想为代表的企业快速崛起，曙光、银河、神州均采用国外CPU
  - 研究工作从计算机的两大核心技术退出：CPU和OS。
  - IT产业和国家安全建立在Wintel和AA平台上
- 第三阶段（2010-）：**在市场化条件下实现自主性**
  - 2001年开始龙芯CPU研发，2010年成立龙芯公司
  - 在开放的情况下打破垄断，建立自主可控的IT产业体系：三分天下有其一

# 我国CPU发展现状

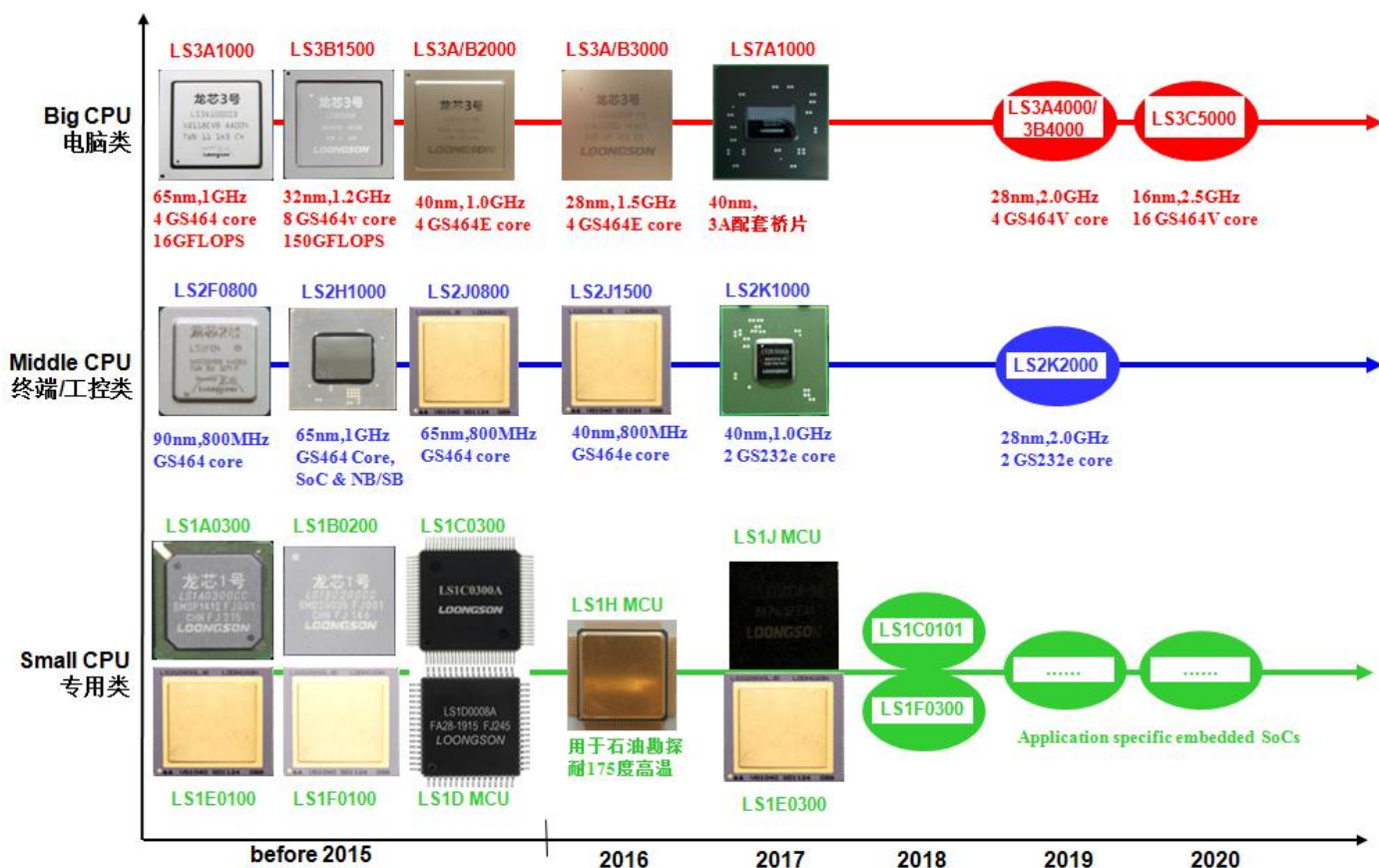
- “十五” 863计划开始支持自主CPU的研发
  - 2001年中科院计算所开始研制龙芯CPU，2002年8月研制成功龙芯1号
  - “龙芯”、“申威”、“飞腾”、“众志”等
- “十一五” “核高基”把 863的CPU成果导入产业，上升为国家战略
  - 研发和产业两张皮问题没有解决，技术指标超额完成，产业化指标难以完成
  - 自主研发路线受到质疑，龙芯2010年转型成立企业
- “十二五” 以来有关部门在安全应用领域开展应用和试点
  - “核高基”转向引进路线（威盛桌面、IBM服务器、ARM）
  - 自主研发CPU转型向市场发展，优化性能和软件生态，龙芯2015年盈亏平衡
- “十三五” 自主研发（龙芯、申威）和引进技术路线激烈斗争
  - 党政军市场快速发展，龙芯迎来快速增长，申威高性能机世界第一
  - 引进CPU（IBM、威盛、ARM桌面）表现不佳，引进更好的（AMD、高通）

# 龙芯CPU发展历程

- 积累期（中央投资）： 2001年在计算所开始研制龙芯CPU
  - 科学院、863、973、NSFC、核高基重大专项等支持
  - 完成了九年的技术积累，达到世界先进水平
- 创业期（地方投资）： 2010年龙芯团队转型成立公司
  - 形成了与市场结合，形成大、中、小三大系列CPU产品
  - 形成了安全应用、通用计算机、嵌入式应用三大市场方向（三个事业部）
- 发展期（市场投资）： 2015年龙芯中科步入良性发展期
  - 在多个领域产品通过产业链到达最终消费者
  - 下游客户中基于龙芯CPU的软硬件研发人员达到几万人
  - 2015起销售收入上亿元，并实现盈利；预计2019/2020年将迎来一轮爆发增长

# 龙芯CPU产品系列

- 面向桌面/服务器类应用的龙芯3号“大CPU”系列：Intel的酷睿/至强系列
- 面向工控和终端类应用的龙芯2号“中CPU”系列：Intel的凌动系列
- 面向特定应用定制的龙芯1号“小CPU”系列：根据应用需求定制



# 龙芯应用领域

- 党政军应用
  - 装备类系统已呈面上铺开趋势
  - 政府办公系统处于试点阶段
- 行业应用
  - 网安通信、能源、交通、金融等
  - 教育信息化、高校实验平台
- 开放市场应用
  - MCU：电子门锁、水气热表
  - 信息系统：开发者、云计算、Linux和Windows混合模式

# 提 纲

- 建立自主IT产业体系
- 龙芯CPU性能优化
- 龙芯软件生态建设
- 龙芯产业链建设

建立自主IT产业体系



# 不忘初心：我们到底想干嘛？

- “构建安全可控的信息技术体系”（习近平）
  - 建立独立于Wintel和ARM+Android体系外的独立信息技术体系
  - 就象“两弹一星”时代我们的先辈建立起自主可控的工业体系一样
- 国家安全的需要：掌握技术主动权
  - 在一个复杂技术体系中做单一产品，保不了国家安全
  - 我国受到的网络攻击，20%-30%来自漏洞，70%-80%来自后门
- 产业发展的需要：掌握产业主动权
  - 计算机只做整机不赚钱，手机既做芯片又做整机还是不赚钱
  - 苹果和三星占全球手机利润：2012年97%，2016年94%，2017年前三季度96%
  - 产业生态的总价值是最终消费者给的，内部怎么分钱？农民干得多、地主拿得多

# 建体系要打通技术链

2010年

我国应用软件世界先进，移植到自主CPU上性能有数量级差异

主要API性能差3-5倍：国内没有Java虚拟机、JS引擎等研制队伍

相同主频下比主流X86性能差3-5倍：国内企业主要用ARM CPU “攒” SOC

主频差2倍：工艺性能差0.5-1倍，物理设计能力差0.5-1倍



2017年

新发现：应用软件结合自主基础软硬件进行优化，可以成数量级提高性能

主要API性能从差3-5倍到基本持平，以开源社区为阵地，争夺生态主导权

相同主频下从差3-5倍到与AMD性能相当，比Intel尚有30%左右差距

主频从差2倍到差1倍：境内工艺1GHz，境外工艺1.5GHz-2GHz

# 生态建设的效果开始显现

- 打通技术链，在每个局部都不如国外的情况下整体性能优于国外系统
  - 某数据库应用，X86服务器需要50分钟，龙芯服务器优化前8小时，优化后80秒；
  - 某雷达显控应用，X86 i7每秒10帧，经过与应用深度优化，龙芯平台上每秒20帧
  - 判断技术是否先进，不是看其跟美国人跟得紧不紧，而是看其跟应用结合得紧不紧
- 建生态没有想象的那么难
  - ARM和谷歌公司的CPU和OS研发人员在百人的数量级，关键是在应用中形成了对产业的正确理解，我国的自主CPU和OS在正在应用试点中形成对产业的正确理解并不断深化，完全可以在方兴未艾的自主基础软硬件应用推广中形成自主的生态环境
- 好生态是做出来的，不是跟出来的
  - 生态不是一成不变的，是随着应用变化而演进的，跟生态必然导致应用落后
  - 下游客户中基于龙芯CPU的软硬件研发人员达到几万人

# 分步走建立自主软硬件体系

- 满足单一应用（2015年）
  - 自主软硬件满足嵌入式单一应用如武器装备、工业控制等已经没有问题（龙芯）
  - 面向专门应用的HPC也是单一应用，可以做到世界第一（申威）
  - 已经形成共识，只有少数人怀疑（十五期间没人信，十一五期间多数人怀疑）
- 满足固定应用（2020年）
  - 结合办公系统、指挥系统等复杂的固定应用开展适配优化工作，这些应用涉及OS、数据库、中间件、浏览器、办公软件、Flash、GIS等，虽然复杂，但有边界
  - 再经过1轮试点，自主软硬件可在[国家安全及国民经济安全](#)相关领域批量应用
- 满足开放市场应用（2025年）
  - 只要自主软硬件在固定应用市场站住脚跟，整个市场占有率超过5%，就能吸引大量的软件和应用主动加入自主软硬件生态系统，在开放市场形成自主的生态

# 龙芯CPU性能优化

# 龙芯CPU产品演进

- 第一代（2013/2014）：计算所科研成果的产品化
  - 3A1000、3B1500、2F、2H为代表，衍生出2J、1A、1B（1.5代）
  - 重视单项指标（论文导向），通用处理性能低（SPEC CPU2006分值2-3分）
  - 建设产品和服务体系，通过自主性、质量和服务体系的差异化满足嵌入式应用需求
- 第二代（2016/2017）：结合市场需求定义产品
  - 通用CPU：3A/B2000、3A/B3000、2K1000、7A
  - 专用CPU：2J1500、1E、1F、1C、1D、1H，生态要求低、性能易发挥
  - 单核通用处理性能提高到3-5倍（10-11分），超过凌动系列，满足行业应用需求
- 第三代（2019/2020）：接近国际主流产品“天花板”
  - 通用CPU：3A/B4000、3A/B5000、2K2000、7B
  - 单核通用处理性能提高到2-3倍（20-30分），达到AMD水平，具有一定市场竞争力

# 第二代产品 “拨乱反正” 提高性能

- CPU通用处理性能主要取决于单个CPU核的性能，而不是核的多少
  - 一群小学生是谈不上“人多力量大”的：终止HPC专用CPU研发，暂停16核CPU研发
  - 先把双核/四核做精做透：通过微结构优化大幅提高流水线效率
- CPU通用处理性能需要计算能力、访存能力、IO能力等的综合平衡
  - 访存带宽是CPU、GPU、IO DMA发挥性能的基础
  - SOC片内互连要在“连通性”的基础上达到“通畅性”
- 3A2000/3A3000大幅度提高性能：处理性能超过凌动系列，访存带宽比肩E5

	单核性能			四核性能		
	SPEC INT2006	SPEC FP2006	STREAM (GB)	SPEC INT2006	SPEC FP2006	STREAM (MB)
LS 3A1000 (四核, 1.0GHz)	2.7	2.5	0.30	9.0	7.7	0.71
LS 3A2000 (四核, 1.0GHz)	6.9	6.3	6.1	22.5	22.2	9.7
LS 3A3000 (四核, 1.5GHz)	11.1	10.1	8.8	36.2	32.9	13.2
AMD K10 (四核, 1.5GHz)	11.3	11.3	4.5	36.6	34.0	6.0

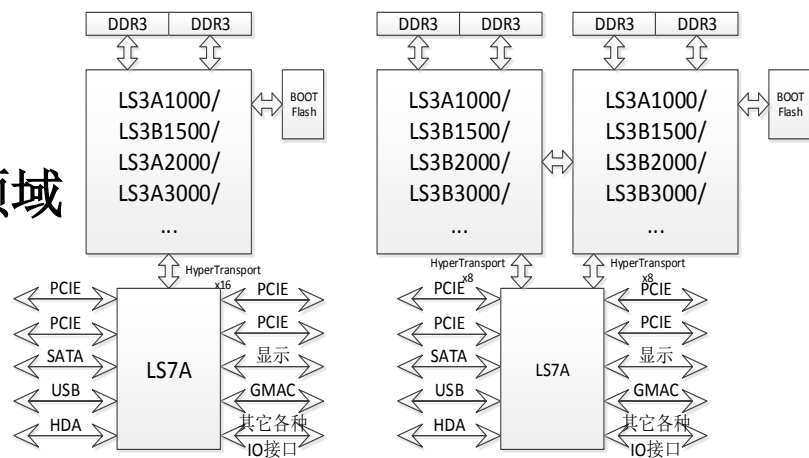
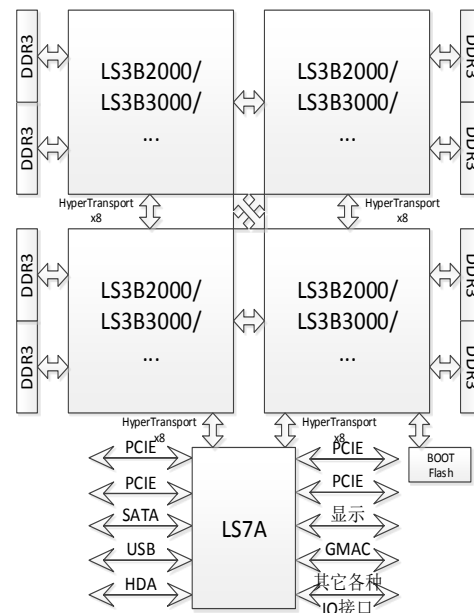
# 龙芯7A桥片

## • 首款龙芯CPU专用桥片

- 系统软件架构向前兼容，通路性能大幅提高
- 标志着龙芯CPU的系统结构有了规范，基础软件可以保持长期兼容

## • 主要特点

- HT3.0接口，支持1-4路CPU直连，内部互连通畅
- 接口丰富： SATA\*3、USB\*6、GMAC\*2、SDIO、NAND、HDA/I2S、LPC、SPI、I2C、UART、GPIO、PWM
- 32路PCIE接口，最多可拆分为12个独立接口，满足多领域外围扩展需求
- 双显示接口，内置GPU（2D能力强，3D能力一般）





# 龙芯2K1000

- 性能是上一代产品龙芯2H的3-5倍
  - 双核，128位向量，SOC的通路更加通畅
  - 单核通用处理性能与主流处理器相当：Cortex A53
  - 接口丰富：PCIE\*6、SATA、USB\*4、GMAC\*2、NAND、SDIO、GPU、DC\*2、HDA/I2S, ...
- 使用境内40nm LL低功耗工艺，1GHz时典型功耗3-5W
- 可能是龙芯具有开放市场竞争力的第一款通用CPU产品（终端和工控）
  - 以2K1000为平台进行添加和裁剪，满足不同应用需求，大幅降低成本

CPU type	Date	Micro-Arch.	LLC	GHz	CPU2K_int	CPU2K_fp	CINT/GHz	CFP/GHz
Intel Atom D2550	2012	Cedar Trail	1MB	1.86	640	588	344	316
Intel Atom J1900	2014	Bay Trail	2MB	2.0	1182	1264	591	632
Samsung s5p4418	2012	Cortex A9	1MB	1.4	444	326	317	233
Rockchip RK3288	2014	Cortex A17	1MB	1.6	605	462	378	289
Broadcom BCM2837	2016	Cortex A53	0.5MB	1.2	507	444	423	370
Loongson 2K	2017	GS264	1MB	1.0	439	501	439	501

所有测试均使用GCC编译器，使用相同优化选项

# “上天”与“入地”专用芯片

- “上天”抗辐照芯片
  - 抗辐照CPU的机遇：商业发射、星上组网、星上计算，结合应用需求形成系列化
  - 低端：1E0100（在用）、1F0100（在用），1J（已流片）
  - 中端：1E0300（在测试）、1F0300（在研）
  - 高端：1E1000（在规划）
- “入地”耐高温芯片
  - 面向石油钻头应用，耐高温175-200度，面向探井、测井等形成系列
  - 龙芯1H：32位CPU，8MHz，内置Flash、EEPROM、SRAM、ADC、电压比较器、AMP
  - 完成185度1000小时地面试验，通过下井试验
- 龙芯的“上天”与“入地”芯片性能将逐步超过国外芯片
  - 在机理清楚情况下建立起的工程流程，与应用形成快速迭代

# 龙芯的第二代CPU产品水平

- 完全可以满足以党政军为代表的行业信息化的要求
  - 综合性能是第一代产品的3-5倍，成本和功耗有所降低
  - 第一代产品刚离开地板，第二代产品已在半空，第三代产品接近 “天花板”
  - （X86处理器单核性能在2010-2012前后到达“天花板”）
- 部分产品可以参与开放市场竞争
  - 龙芯1B、1C、1D在低端嵌入式市场已经开打价格战
  - 龙芯2K1000在工控和行业终端市场可以跟凌动、ARM Cortex A53等打打价格战
  - 龙芯3A3000+7A组合在行业市场打价格战
- 种瓜得瓜、种豆得豆：种论文得职称，种产品得市场
  - 技术是难点，但更难的是对市场需求的理解。这是一个需要探索和试错的过程。

# 第三代产品 “跨越发展” 提高性能

- 相同主频下（FPGA验证平台）
  - 3A4000性能比3A3000明显提高
  - 根据在X86平台评估结果，向量化还可以分别提高5%和15%
- 相同工艺下 (32/28nm)
  - 主频从1.5GHz提高到2.0GHz
  - SPEC CPU2006分值达到20分
  - 3B1500(3/2.4) => 3A3000(11/10) => 3A4000(20/20)
- 完成设计能力 “补课”
  - 再使用16/12nm工艺提高主频和核数
  - 形成3A5000和3C5000（16核）

SPEC CPU2000	3A3000时间	3A4000时间	提升比例
164. gzip	2. 373002	1. 658276	43. 10%
175. vpr	2. 142015	1. 546436	38. 51%
176. gcc	1. 443010	1. 057683	36. 43%
181. mcf	0. 167207	0. 137519	21. 59%
186. crafty	2. 859410	2. 175348	31. 45%
197. parser	2. 570153	2. 007103	28. 05%
252. eon	0. 598002	0. 267182	123. 82%
253. perlbnk	4. 416505	4. 324446	2. 13%
254. gap	0. 803277	0. 605638	32. 63%
255. vortex	7. 005304	4. 367479	60. 40%
256. bzip2	12. 731245	4. 132489	208. 08%
300. twolf	0. 212289	0. 152516	39. 19%
定点几何平均	1. 633914	1. 099958	48. 54%
168. wupwise	6. 549793	4. 475321	46. 35%
171. swim	0. 547122	0. 284005	92. 65%
172. mgrid	6. 728833	5. 813247	15. 75%
173. applu	0. 150064	0. 107069	40. 16%
177. mesa	2. 245281	1. 528845	46. 86%
178. galgel	1. 426614	1. 162922	22. 67%
179. art	2. 159697	1. 145294	88. 57%
183. equake	0. 836027	0. 601791	38. 92%
187. facerec	3. 182909	1. 455451	118. 69%
188. ammp	7. 479113	5. 616515	33. 16%
189. lucas	3. 738359	2. 916560	28. 18%
191. fma3d	0. 006379	0. 005101	25. 05%
200. sixtrack	6. 114642	4. 649865	31. 50%
301. apsi	3. 591871	2. 952051	21. 67%
浮点几何平均	1. 488019	1. 034983	43. 77%

# 芯片的核心IP必须自主掌握

- 龙芯三大系列CPU核持续改进和发展
  - GS132系列（最新版GS132E）：单发射32位，静态流水
  - GS232系列（最新版GS232E）：双发射32/64位，动态流水
  - GS464系列（最新版GS464E）：四发射64位，动态流水
- 片内互联总线及系统总线
  - 片内AXI、AHB、APB互联总线；
  - 系统总线HT1.0、HT2.0、HT3.0及相关PHY
- 内存控制器：SDRAM、DDR2、DDR3、DDR4及相关PHY
- GPU：目前已经掌握2D技术，“十三五”期间掌握3D技术
- 自主IP进行充分磨合，可以最大限度发挥整体性能

# CPU研发的“进化论”

- 高复杂系统的“进化论”：高复杂系统只能在试错中演进
  - 过去四十年为了高速发展，有些难攻的“山头”暂时绕过去了
  - 发动机、CPU、高端控制系统、精密仪器……
  - 高复杂系统影响品质的因素非常多，子系统之间的关系非常复杂，如大脑
  - **复杂系统能力建立需要30年**：俄罗斯航母、中国大飞机、CPU等
- 在应用中试错是高复杂系统成熟的必由之路
  - 除了人才、机制、经费，时间是复杂系统创新的重要因素，试错是必要过程
  - 使用自主研发的产品，刚开始可能不尽如人意，而且会有一个越用问题越多的阶段（现在自主CPU已经过了这个阶段）。但只要坚持用，有2-3轮持续改进，就能进入越用问题越少的阶段，走向成熟，甚至超过国外系统
- **撸起袖子加油干+耐着性子坚持干**

# 龙芯软件生态建设

# 建设两大基础软件平台

- 控制类系统平台：开拓疆域

- Android改造了服务业，“中国制造2025”需要新平台改造制造业
- 统一实时OS的图形等接口，消除“小烟囱”，把实时应用APP化
- 基于VxWorks的图形系统取得对X86和ARM的总体优势

- 信息化系统平台：收复失地

- 优化重要API模块，进行IO适配，通过开源社区争夺主导权
- 在行业应用Linux生态中取得对ARM的总体优势及对X86的局部优势

- 通过社区版OS平台支持下游企业定制发行版

龙芯OS平台

中标

普华

麒麟

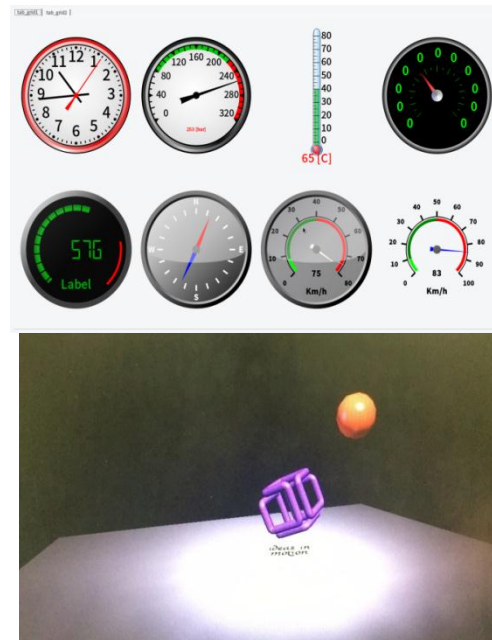
深度

锐华

道系统

.....

龙芯社区版操作系统平台（Loongnix/LoongOS）





# 关于生态建设的几点认识

- 生态建设的关键是开发者！
- 应用（APP）开发者的接口API
  - 是OS的指令系统，是建生态的必争，微软和SUN、谷歌和Oracle的官司
  - 对重要API进行优化：GCC、浏览器、JS、图形库、GIS显控，Java等
  - 联合核心软件合作伙伴开展优化：WPS、版式文件、Flash等
- 系统开发者的接口：BIOS和内核接口
  - 统一BIOS和内核接口（UEFI），使同一操作系统可以运行在不同板卡和CPU上
  - 全面开展专用IO设备的适配工作：高拍仪、扫描仪、身份证读卡器、手写板等
  - 通过二进制翻译，全面支持Windows XP的设备

项目	优化前（2013）	优化后（2017）
3A3000 OpenJDK8的SpecJVM2008测试分值	18	43
3A3000 Firefox浏览器Octane测试分值	2945	6144
3A3000浏览器Flash视频播放	不支持标清	支持高清

# 性能提高了一个数量级

- CPU通用处理性能提高：4倍

	单核性能			四核性能		
	SPEC INT2006	SPEC FP2006	STREAM (GB)	SPEC INT2006	SPEC FP2006	STREAM (MB)
LS 3A1000 (四核, 1.0GHz)	2.7	2.5	0.30	9.0	7.7	0.71
LS 3A2000 (四核, 1.0GHz)	6.9	6.3	6.1	22.5	22.2	9.7
LS 3A3000 (四核, 1.5GHz)	11.1	10.1	8.8	36.2	32.9	13.2
AMD K10 (四核, 1.5GHz)	11.3	11.3	4.5	36.6	34.0	6.0

- 基础软件性能提高：2.5倍

项目	优化前 (2013)	优化后 (2017)
3A3000 OpenJDK8的SpecJVM2008测试分值	18	43
3A3000 Firefox浏览器Octane测试分值	2945	6144
3A3000浏览器Flash视频播放	不支持标清	支持高清

- 过去三年，龙芯CPU性能提高（4倍）\*基础软件性能提高（2.5倍）= 应用层一个数量级的提高
- 未来三年，预计总共还有2-3倍提升空间，然后逼近天花板，开始玩花活

# 龙芯产业链建设思路

# 龙芯产业链建设

- 学Intel通过CPU组织产业链
  - 通过CPU销售盈利，保持结构的兼容和稳定
  - 与OS形成稳定技术组合，组织ODM厂商做主板，避免技术发散
- 学Google通过OS辐射产业链
  - 通过Android辐射产业链，如小米的米OS、华为的麒麟OS均基于Android
  - 建立开放兼容的龙芯基础版OS，支持合作伙伴推出发行版操作系统产品
- 学Apple把细节做精
  - 对CPU、桥片、操作系统进行系统优化
  - 在补课完成的基础上，争取2020年前后推出性能大幅优化的操作系统
- 形成了包含近千个合作伙伴的龙芯产业链
  - 下游客户中基于龙芯CPU的软硬件研发人员达到**几万人**

# 市场带技术

- 党政办公一期试点（十二五）：填大坑（基本可用）
  - 面向基于嵌入式操作系统的单一应用及基于Linux通用操作系统的简单应用
  - CPU性能不足，基础软硬件磨合不够，软硬件状态发散
- 党政办公1.5期试点（十三五前期）：填中坑（可用）
  - 面向以党政办公为代表的复杂固定应用，每个应用场景有上千台计算机
  - CPU升级到第二代，OS升级到64位；内核稳定性大幅提高，浏览器、Flash、Java等性能大幅提高，IO适配不断完善，统一系统架构，实现操作系统二进制兼容
  - 产业链形成较固定组合，通过ODM企业降低整机成本
- 党政办公二期试点（十三五后期）：填小坑（好用）
  - 面向的应用具有全业务、全地域的特点
  - CPU通用处理性能再提高1-2倍，2020年前后逼近国际主流CPU的“天花板”
  - 以用户体验为中心，对自主基础软硬件展开系统优化，用户体验有实质性提高

# 成熟度从量的积累到质的变换

- 功能完整
  - 关键功能软件，如浏览器、Java、Flash、Docker、KVM
  - 大量IO驱动，如打印机、扫描仪、高拍仪、身份证读卡器……
- 架构稳定
  - 实现操作系统对不同主板及升级后的CPU二进制兼容
  - 涉及CPU、桥片、BIOS、OS的大量细节规范
- 问题收敛
  - 应用现场问题追溯到CPU和OS的越来越少
  - 建立批量压力测试环境，提前发现问题
- 性能优化
  - 总体性能提高一个数量级，以及大量细节优化

# 加强龙芯开发者培养

- 高校开源计划
  - 面向高校和研究机构，开放龙芯GS132和GS232处理器核源代码
  - 与教育部计算机教指委合作推出基于龙芯CPU的系统能力培养大赛
  - 打造教学生“造”计算机而不是“用”计算机的实验开发平台
- 龙芯开发者计划
  - 开发者是龙芯生态的建设者，他们宽容龙芯生态的不完善并积极参与建设
  - 设立龙芯**开发者论坛**，通过论坛注册可以很优惠地购买龙芯计算机
  - 召开龙芯**开发者大会**，民主讨论开发内容，奖励开发者
  - 推出龙芯“**应用公社**”计划，可通过积累“工分”参与龙芯分红及期权激励

# 小 结

- 自主研发的CPU经过17年的发展，可以满足我国行业信息化的需求
  - 第一代产品：把计算所的成果产品化，主要满足单一应用需求
  - 第二代产品：结合市场需求，通过微结构优化提高处理器核的性能，提高SOC片内网络的通畅性，降低功耗和成本
- 通过软硬件磨合，从可用到好用
  - 如果应用软件能够结合自主基础软硬件的特点进行优化，大幅度提升用户体验
  - 打通技术链，在每个局部都不如国外的情况下总体装备性能优于国外系统
- 建立两大生态
  - 开拓疆域：面向“中国制造2025”的工业互联网生态
  - 收复失地：融合Windows、Linux、Android的桌面/服务器生态
  - 通过多年建设，龙芯CPU的VxWorks和Linux生态已经局部优于X86和ARM
- 克服生态建设的畏难情绪：寇可往、我亦可往



# 龙芯CPU发展道路

- 岔路一：市场化道路 vs. 学院派道路
  - 坚持企业主体：作别“学院派”，坚定不移地走产业化道路
  - 知易行难，难的是专心致志，不脚踩两只船，上百技术骨干从科学院辞职
- 岔路二：自主研发 vs. 引进技术
  - 坚持自主研发：核心技术一定要自己掌握，而不是靠引进
  - 知难行难：复杂系统没法消化吸收，只能在产业化实践中不断演进
- 岔路三：建生态 vs. 做产品
  - 坚持生态建设：建立“三分天下有其一”的自主软硬件生态
  - 知更难行更难：在开放的情况下打破垄断 vs. 在封锁的情况下打破封锁
- 以安全可控为主题，以产业发展为主线，以体系建设为目标
  - 这是一条不容易走的道路，但走通后前途最光明，对国家人民的好处最大
  - 龙芯过去十六年“探路”的实践表明，这条路走得通的可能性较大

我们正在前进。我们正在做我们的前人从来没有做过的极其光荣伟大的事业。我们的目的就一定要达到。我们的目的就一定能够达到。