



# 龙芯技术白皮书

龙芯中科技术有限公司

安全应用事业部

二〇二〇年八月

# 目 录

一、龙芯中科公司基本情况.....	1
二、龙芯面向特种领域的高质量等级产品及解决方案.....	2
2.1 重点推荐的龙芯高质量等级芯片.....	2
(1) 龙芯 3A3500-J.....	2
(2) 龙芯 7A1000-J.....	3
(3) 龙芯 2K1000-J.....	4
(4) 龙芯 2J1500.....	4
(5) 龙芯 1A500-J.....	5
2.2 重点推荐的高质量等级解决方案.....	6
(1) 龙芯 3A3500-J + 7A1000-J 方案.....	6
(2) 龙芯 2K1000-J COME 板卡国产化解决方案.....	7
(3) 龙芯 2J1500+1A500-J 板卡国产化解决方案.....	8
三、龙芯系列芯片产品.....	10
3.1 龙芯芯片总体情况.....	10
产品系列.....	10
安全领域产品.....	11
3.2 2020年重点推荐的龙芯芯片.....	12
(1) 龙芯 3A4000.....	12
(2) 龙芯 2K1000.....	13
(3) 龙芯 1A500.....	14
3.3 面向安全领域的芯片产品.....	15
(4) 龙芯 3A3000/3B3000.....	15
(5) 龙芯 7A1000.....	16
(6) 龙芯 3A1500/2000.....	17
(7) 龙芯 2J0800 和龙芯 2J1500.....	19
(8) 龙芯 2H.....	19
(9) 龙芯 1A.....	20
(10) 龙芯 1B.....	21
3.4 成熟的历史产品.....	22
(11) 龙芯 3A1000.....	22
(12) 龙芯 2F.....	23
四、龙芯解决方案.....	24
(1) 龙芯双 3A4000+7A1000 方案.....	24
(2) 龙芯 3A3000+7A1000 6U CPCI/CPEX 方案.....	26
(3) 龙芯双 3A3000+7A1000 6U VPX 方案.....	27
(4) 龙芯 2K1000 平板电脑方案.....	29
(5) 代替 ARM 和 PowerPC 的国产嵌入式方案.....	29
五、龙芯平台软件生态.....	31
5.1 Linux 通用信息化系统.....	31
(1) 操作系统发行版.....	31
(2) 龙芯统一系统架构与固件规范.....	33

(3) Linux 内核.....	33
(4) 编程语言与开发环境支持.....	34
(5) 显卡驱动与图形环境.....	34
(6) QT 图形环境.....	35
(7) Java.....	35
(8) 浏览器.....	36
(9) 媒体编解码.....	36
(10) Docker 容器虚拟化.....	37
(11) KVM 虚拟化.....	37
(12) 3D 显控.....	38
(13) 数学库.....	38
(14) 性能分析工具.....	38
(15) 国产基础软件支持.....	38
(16) 第三方外设支持.....	39
5.2 嵌入式实时操作系统.....	39
(17) 板级支持包 (BSP) .....	39
(18) 嵌入式二维图形解决方案.....	40
(19) 嵌入式三维图形解决方案.....	41
5.3 嵌入式精简操作系统 LoongOS.....	41
六、龙芯 CPU 发展规划.....	43
6.1 龙芯 CPU 指令系统.....	43
6.2 龙芯 CPU 核.....	43
6.3 龙芯 CPU 芯片.....	44
6.4 龙芯 CPU 桥片.....	45
6.5 通用 CPU 近期研发计划.....	46
6.6 抗辐照 CPU 近期研发计划.....	47
6.7 龙芯 CPU 质量等级.....	48
附表一：龙芯通用 CPU 路线图.....	50
附表二：龙芯 CPU 质量等级.....	52

## 一、龙芯中科公司基本情况

中科院计算所于 2001 年开始研制龙芯系列 CPU，经过近二十年积累，龙芯系列 CPU 达到了世界先进水平，可以基本满足我国信息化需求。2010 年中科院和北京市共同牵头投资龙芯中科技术有限公司（以下简称龙芯中科），从事龙芯系列芯片的研发和产业化工作。

龙芯中科肩负“保障国家安全、支撑产业发展”的使命，致力于自主研发龙芯 CPU 产品，为下游企业开发基于龙芯 CPU 的解决方案，销售龙芯产品并提供技术支持和售后服务。龙芯中科的处理器产品包括面向低端嵌入式应用的龙芯 1 号系列 CPU，面向行业领域和嵌入式应用的龙芯 2 号系列 CPU，面向桌面服务器和高端嵌入式的龙芯 3 号系列 CPU，以及与 CPU 配套的系列自主桥片。龙芯 CPU 产品已应用于特种行业、桌面计算机、笔记本、服务器、行业终端、工业控制、能源交通、数字电视、数控机床、网络安全等领域，下游合作伙伴几千家。

龙芯中科十分重视安全领域的应用，组建专门服务特种行业的安全应用事业部，建立产品质量体系和服务体系，在若干领域推广应用龙芯 CPU，得到用户的高度认可。龙芯中科通过与装备管理部门、总体单位和产业部门的合作，摸索自主可控信息产业体系的生态建设途径。

## 二、龙芯面向特种领域的高质量等级产品及解决方案

### 2.1 重点推荐的龙芯高质量等级芯片

龙芯部分芯片有高质量等级产品，采用陶瓷封装，如下图所示：龙芯 3A1500、龙芯 3A3500-J、龙芯 2J、龙芯 2J1500、龙芯 2K1000-J、龙芯 7A1000-J、龙芯 1A500-J 等芯片。目前重点推荐三种组合：龙芯 3A3500-J 龙芯 7A1000-J 组合，龙芯 2K1000-J 方案，龙芯 2J1500 龙芯 1A500-J 方案；以及 5 款高质量等级芯片：龙芯 3A3500-J、龙芯 7A1000-J、龙芯 2K1000-J、龙芯 2J1500、龙芯 1A500-J。

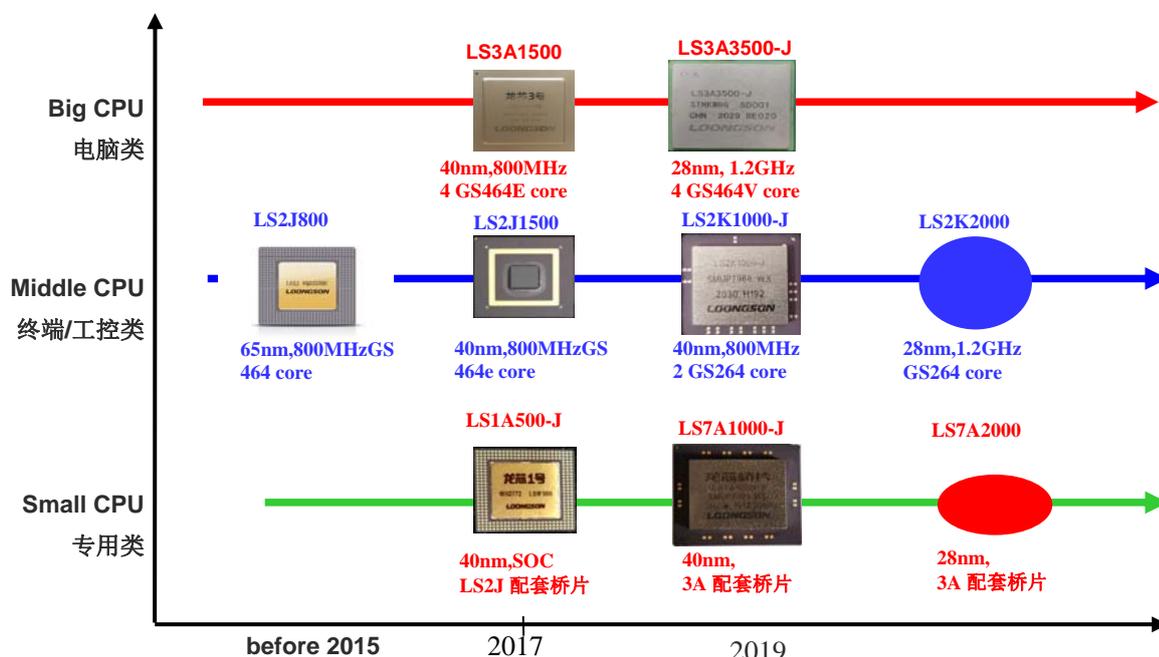


图 2.1 龙芯高质量等级芯片

#### (1) 龙芯 3A3500-J

龙芯 3A3500-J 是龙芯 3A4000 芯片的高质量等级产品，片内集成了安全可信模块，该模块将安全可信技术和通用计算处理器技术进行融合设计，提供了高性能的密码算法服务能力、可信计算服务能力和硬件级的安全防护能力，为用户提供了全新的、灵活的安全解决方案，可构建自主可控的安全可信信息系统生态链。

- 片内集成 4 个 64 位的四发射超标量 GS464v 高性能处理器核，主频 1.2GHz；
- 峰值浮点运算能力 76GFLOPS@1.2GHz；

- 片内集成 8 MB 的分体共享三级 Cache (由 4 个体模块组成, 每个体模块容量为 2MB) ;
- 通过目录协议维护多核及 I/O DMA 访问的 Cache 一致性;
- 片内集成 2 个 72 位带 DDR4 控制器, 支持 DDR4;
- 片内集成 2 个 16 位 HyperTransport 控制器 (以下简称 HT) ;
- 每个 16 位的 HT 端口可拆分成两个 8 路的 HT 端口使用。
- 片内集成 2 个 I2C、2 个 UART、1 个 SPI、16 路 GPIO 接口。
- 高质量等级芯片采用 CCGA1211 封装, 尺寸为 37.5mm\*37.5mm, 工作温度范围为-55°C -- +125°C, 细节见详规。
- 龙芯 3A3500-J 芯片主频为 1.2GHz, 核心电压为 1.05v。在主频 1.2GHz, 核心电压为 1.05v 时常温功耗约 15 瓦, 高温功耗约 20 多瓦。

2020 年下半年推出主频为 1.2GHz 的高质量等级芯片龙芯 3A3500-J。

## (2) 龙芯 7A1000-J

龙芯 7A1000-J 型桥片是龙芯 3 号处理器的第一款专用芯片组产品, 目标是替代 AMD RS780+SB710 芯片组或龙芯 2H 兼用桥片, 为龙芯处理器提供南北桥功能。

龙芯 7A1000-J 的主要技术特点如下:

- 16 位 HT 3.0 接口;
- 2D/3D GPU; 显示控制器, 支持双路 DVO 显示; 16 位 DDR3 显存控制器;
- 3 个 x8 PCIE 2.0 接口; 每个 x8 接口都可以拆分为 2 个独立的 x4 接口;
- 2 个 x4 PCIE 2.0 接口; 可以拆分为 6 个独立 x1 接口;
- 3 个 SATA 2.0;
- 6 个 USB 2.0;
- 2 个 RGMII 千兆网接口;
- HDA/AC97;
- RTC/HPET 模块;
- 1 个全功能 UART 控制器;
- 6 个 I2C 控制器;
- 1 个 LPC 控制器;
- 1 个 SPI 控制器;
- 多个 GPIO 引脚;
- 支持 ACPI 规范;
- 采用 CBGA804 封装, 工作温度范围为-55°C -- +125°C;
- 常温功耗不超过 6 瓦。

2020年下半年推出高质量等级产品龙芯 7A1000-J。

### (3) 龙芯 2K1000-J

龙芯 2K1000-J 处理器是龙芯 2H 的升级芯片，其计算性能和 IO 带宽比龙芯 2H 都大幅提高。龙芯 2K1000-J 的主要技术特点如下：

- 集成两个 64 位的双发射超标量 GS264 处理器核，高质量等级芯片主频 800MHz；
- 每个核有 32KB 数据 Cache 和 32KB 的指令 Cache
- 集成共享的 1MB 二级 Cache；
- 集成 GPU，显示控制器，支持双路 DVI 显示；
- 集成 64 位 533MHz 以上的 DDR2/3 控制器；可配置为 32/16 位
- 集成 2 个 x4 PCIE2.0 接口；可以拆分为 6 个独立 x1 接口；
- 集成 1 个 SATA2.0 接口；
- 集成 4 个 USB2.0 接口；
- 集成 2 个 RGMII 千兆网接口；
- 集成 HDA/AC97/I2S 接口；
- 集成 RTC/HPET 模块；
- 集成 1 个全功能串口，最多可配置 12 个 UART 控制器（需要配置工作模式）；
- 集成 1 个 NAND 控制器、2 个 CAN 控制器、1 个 SDIO 控制器、1 个 SPI 控制器和 2 个 I<sup>2</sup>C 控制器；
- 支持 AES、DES 和 RSA 算法加解密；
- 采用 CBGA608 封装，尺寸为 27mm×27mm；工作温度范围为-55℃ -- +125℃；
- 集成动态功耗控制模块，常温功耗约 3~5 瓦。

2020年推出高质量等级产品龙芯 2K1000-J。

### (4) 龙芯 2J1500

高质量等级芯片龙芯 2J1500 的主要结构特点如下：

- 采用 40nm 工艺，主频 800MHz；
- 集成 GS464e 四发射 64 位高性能龙芯处理器核；
- 兼容 MIPS64 指令系统；
- 集成 64KB 指令 Cache 和 64KB 数据 Cache；
- 集成 1MB 二级 Cache；
- 集成 64+8 位 DDR2/3 内存控制器；
- 集成 2 个 GMAC 控制器；

- 集成 32 位 PCI/PCIX 控制器；
- 集成 LPC、SPI、UART 等接口；
- 采用 CBGA500 封装，尺寸为 31mm×31mm；
- 高质量等级芯片龙芯 2J1500 工作温度范围为-55℃ -- +125℃。

## (5) 龙芯 1A500-J

龙芯 1A500-J 是龙芯 1A 处理器的升级产品，其目标是为龙芯 2J1500 提供桥片或作为独立 SoC。龙芯 1A500-J 采用 40nm 工艺实现。片内集成定点处理器、浮点处理器、图形图像处理功能，以及南桥、北桥等配套芯片组功能。

龙芯 1A500-J 的主要技术特点如下：

- 集成一个 GS264 双发射龙芯处理器核，L1 Cache (I/D) 32KB，L2 Cache 512KB；
- 集成 1 个 32 位 133MHz DDR2 控制器；
- 集成 2D GPU，兼容 OpenGL ES2.0；
- 集成两路显示控制器，最大分辨率可支持到 1920\*1080@60Hz/24bit；
- 集成 PCI 控制器，支持 HOST/DEVICE；
- 集成 2 个 SATA2.0 接口；
- 集成 2 个 10M/100M/1000M 自适应 GMAC，支持 RGMII/MII；
- 集成 4 个 USB2.0 HOST 接口，其中一个可配置为 OTG 接口；
- 集成 1 个 8 位 NAND FLASH 控制器，支持 MLC，支持系统启动；
- 集成 6 个 SPI 控制器，1 路支持系统启动；
- 集成 1 个 LPC 控制器，支持主从模式；
- 集成 6 路 IIC 控制器，兼容 SMBUS；
- 集成 HDA/AC97 接口；
- 集成 10 路 UART 串口；
- 集成 4 个 CAN 控制器；
- 集成 1 个 PS/2 控制器；
- 集成 1 个 SDIO 控制器；
- 集成 16 路 PWM 控制器；
- 集成 149 路 GPIO 端口；
- 集成 RTC/HPET；
- 集成看门狗电路；
- 集成 ACPI，支持网络唤醒；
- 集成动态功耗控制模块，支持 DVFS/DPM；

- 集成中断控制器，支持灵活的中断设置；
- 工作温度范围为-55℃ -- +125℃。

龙芯 1A500-J 于 2020 年下半年推出高质量等级样品。

## 2.2 重点推荐的高质量等级解决方案

三个重点推荐的高质量等级方案分别为：龙芯 3A3500-J 龙芯 7A1000-J 组合，龙芯 2K1000-J 方案，龙芯 2J1500 龙芯 1A500-J 方案。

### (1) 龙芯 3A3500-J + 7A1000-J 方案

龙芯 3A3500-J 搭配龙芯 7A1000-J。龙芯 3A3500-J + 7A1000-J 的解决方案，可以满足有较高性能，并且对国产化率有很高要求的场合。

龙芯 3A3500+7A1000 COME 计算机模块采用龙芯 3A3500-J 国产处理器和 7A1000-J 国产桥片，是一款符合 COME 标准的以国产芯片为设计主体的计算机模块，框图如图 2.2 所示，主要规格如表 2.1 所示。

表 2.1 龙芯 3A4000/3500+7A1000 COM-E 模块规格

项目	描述	
系统平台	处理器	龙芯 3A3500-J 4 核处理器，主频 1.2GHz
	桥片	龙芯 7A1000
	内存	板载 4GB/8GB DDR4
	固件	16 MB SPI FLASH
接口	PCI-E	1 路 PCI-E2.0 x8, 5 路 PCI-E2.0 x4
		4 路 PCI-E2.0 x1
	USB	6 路 USB2.0
	SATA	3 路 SATA2.0
	Ethernet	2 路 10/100/1000 Mbit Ethernet
	Audio	1 路 HDA
	Display	1 路 VGA, 1 路 24bit LVDS
	LPC	1 路 LPC
	SPI	1 路 SPI
	I <sup>2</sup> C	2 路 I <sup>2</sup> C
	Serial	2 路 TTL 串口 (7A_UART)
	GPIO	4 路 GPI, 4 路 GPO

电源	供电	3.0V RTC, 5V Standby and 12V Primary
	功耗	TDP < 60w
结构	尺寸	95x95mm
	Pin-out Type	COM Express Base Reversion2.0 Pin-out Type 6
环境	工作	-40℃~+60℃
		5~95%RH, 不凝结
	存储	-40℃~+80℃, 5~95%RH, 不凝结

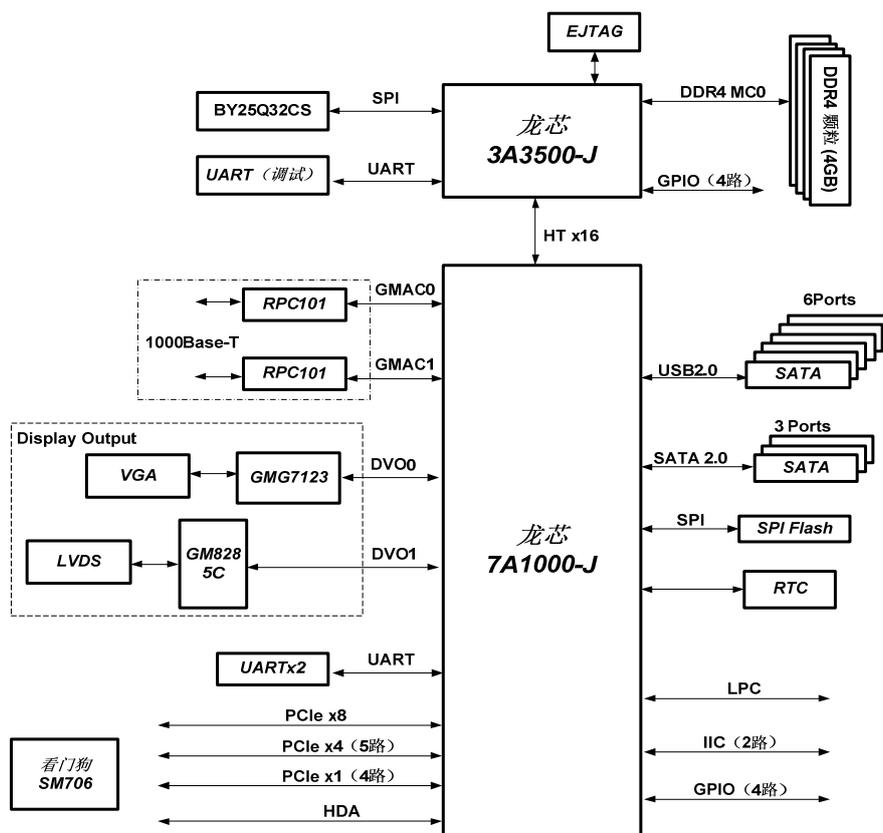


图 2.2 龙芯 3A3500 龙芯 7A1000 COM-E 方案

## (2) 龙芯 2K1000-J COME 板卡国产化解决方案

龙芯 2K1000-J COM Express 方案板由 CPU 核心板和载板组成。CPU 核心板采用标准 Basic Module 结构，信号定义符合 COM.0 R2.0 规范，选用 module type6。核心板上主要放置时钟发生器、电源模块、PHY 芯片、显示芯片、内存颗粒、BIOS 等存储模块。载板提供 ATX 电源、RTC 电池，音频芯片、复位电路、各功能接口、PCIe 扩展插槽等，如图 2.3 所示。

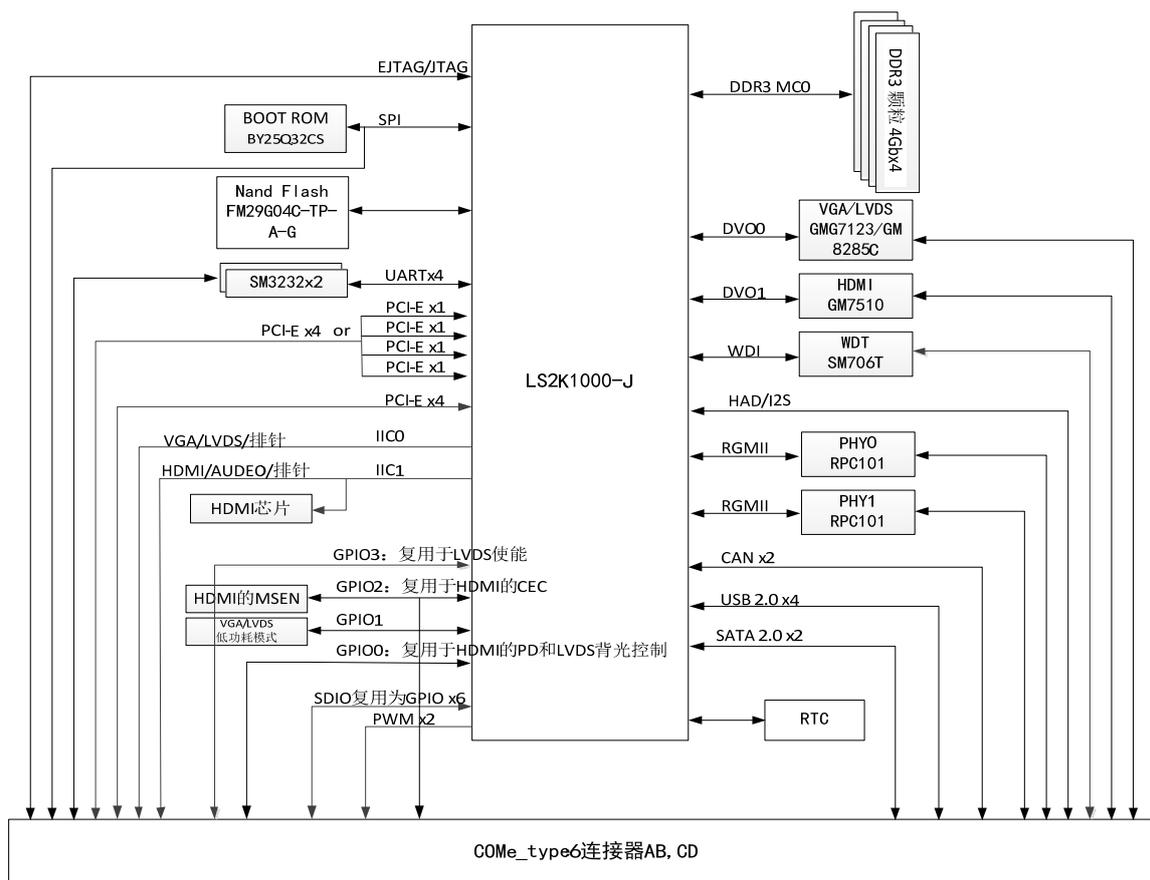


图 2.3 龙芯 2K1000 COME 国产化解决方案框图

### (3) 龙芯 2J1500+1A500-J 板卡国产化解决方案

龙芯 2J1500+1A500-J 3U CPCI 板卡是 3U 计算机模块，采用龙芯 2J1500 处理器，实现符合 Compact PCI 2.0R3.0 规范的计算机模块，具有完整的计算机功能，集成网络、显示、PCI-PCI 桥、SATA 接口、声卡、串口、USB 接口等功能。

龙芯 2J1500+1A500 3U CPCI 板卡是在龙芯 2J\_3U\_CPCI 基础上推出的一款全国产化方案板卡，方案图如图 2.4 所示。

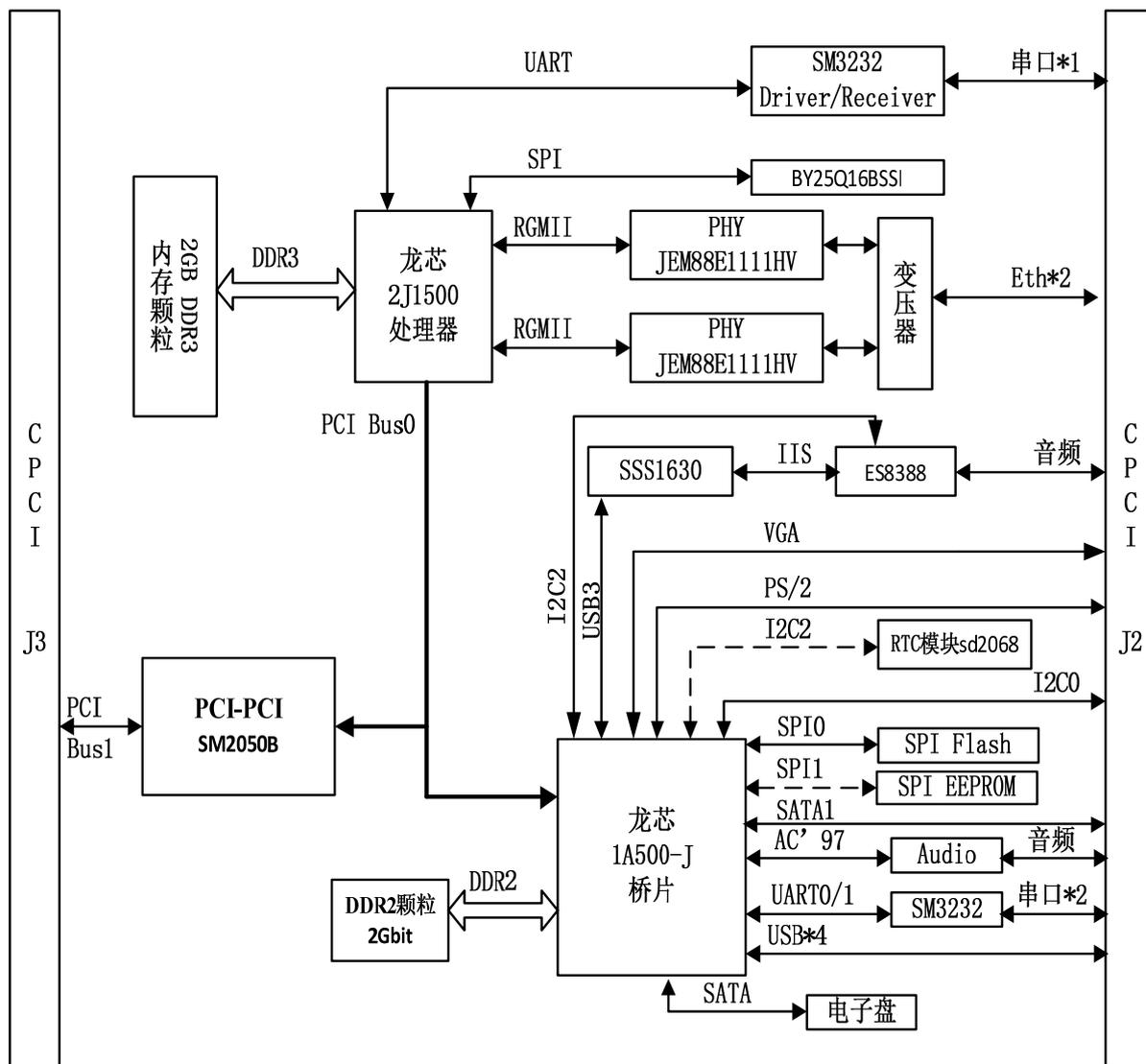


图 2.4 龙芯 2J1500+1A500-J 板卡国产化解决方案

## 三、龙芯系列芯片产品

### 3.1 龙芯芯片总体情况

#### 产品系列

龙芯系列通用处理器包括龙芯1号、龙芯2号和龙芯3号三个系列。

龙芯1号系列处理器是采用龙芯32位处理器核的单核处理器，主要应用于低端嵌入式和消费类电子等领域，也应用于航天等特殊应用环境。近年推出的龙芯宇航级抗辐照芯片龙芯1E系列和配套芯片龙芯1F系列，其性能和抗辐照能力达到国际先进水平。成熟的SoC芯片龙芯1A和龙芯1B，接口功能丰富，功耗低，广泛应用于嵌入式领域；龙芯1A还可以作为龙芯2J系列芯片的PCI南桥芯片使用，其升级芯片龙芯1A500已于2020年8月份流片回来。龙芯1E300、龙芯1F300和龙芯1J芯片是面向航天抗辐照领域的最新芯片。

龙芯2号系列处理器是面向嵌入式和行业应用的高性能低功耗处理器。龙芯2F芯片经过十多年的产业化推广，已达到几十万片的规模应用，目前仍有多个型号项目持续使用该芯片。2012年研制成功的高质量等级芯片龙芯2J是64位SoC芯片，持续应用到十多个重要项目上。集成更多功能的SoC芯片龙芯2H于2014年推出，2017年推出功能更多和性能更强的龙芯2K1000芯片，可替代500MHz~1.5GHz的单核或双核PowerPC等嵌入式CPU。

龙芯3号系列处理器是面向桌面、高端嵌入式和终端及服务器应用的多核处理器。该系列芯片包括龙芯3A1000、龙芯3A1500/2000、龙芯3A3000/3B3000、龙芯3A4000/3B4000等芯片。龙芯3A1000于2009年研制成功，是公司第一代处理器典型产品。龙芯3A1500/2000是龙芯公司结合市场需求研制的在国内工艺流片的国产CPU，2016年批量供货。龙芯3A3000/3B3000是2017年推出的龙芯处理器，比龙芯3A1500性能提高50%以上。龙芯3A1500/2000/3000与3A1000引脚兼容，可以直接替换，为用户节省可观的资源投入。上层软件只需要对BIOS和内核做少量修改，应用软件不受影响。2018年推出龙芯7A1000芯片，该芯片是龙芯3号CPU的专用桥片。2019年推出龙芯第三代产品的首颗芯片龙芯3A4000，主频1.5~2.0GHz，性能比龙芯3A3000提高约一倍。

## 安全领域产品

为满足国家信息安全和自主可控应用需要，龙芯中科推出面向特种行业应用的龙芯系列芯片产品，包括多核 CPU 系列、单核 CPU 系列以及定制嵌入式 SOC 系列，如图 3.1 所示，龙芯在特种领域主推的芯片有：龙芯 3A1500J、龙芯 3A3500J、龙芯 2J、龙芯 2J1500、龙芯 2K1000J、龙芯 7A1000J、龙芯 1A500J 均为高质量等级级 CPU，陶瓷封装。



图 3.1 龙芯产品路线图

龙芯高性能 64 位多核处理器片内集成多个 64 位四发射高性能龙芯 IP 核。该系列芯片面向桌面、服务器、数字信号处理（DSP）和高端嵌入式等应用，由于其低功耗的特性，部分芯片亦可应用于高性能的加固计算机等装备。目前主要产品包括龙芯 3A1500/3000 和龙芯 3A4000 等。

龙芯中 CPU 使用 64 位龙芯处理器 IP，集成内存控制器、系统总线及必要的外围接口，可应用于控制系统、行业终端、加固计算机、舰载/机载/地面计算机，目前主要产品包括龙芯 2K1000 和龙芯 2J1500 等。

龙芯定制 SOC 系列使用 32 位低功耗龙芯处理器 IP, 集成 GPU 以及丰富的外围接口, 可应用于工业控制、移动信息终端等嵌入式应用及一些专业应用。目前主要产品包括龙芯 1A、龙芯 1B、龙芯 1E 和龙芯 1F 等系列处理器。

## 3.2 2020 年重点推荐的龙芯芯片

2020 年推出的产品包括龙芯 3A4000 工业级芯片和龙芯 3A3500-J 高质量等级芯片、龙芯 2K1000-J 高质量等级芯片、龙芯 7A1000-J 高质量等级芯片、龙芯 1A500 芯片、龙芯 3A5000 等芯片。

### (1) 龙芯 3A4000

龙芯 3A4000/3B4000 处理器是第三代多核龙芯处理器的首款产品。其结构设计在龙芯 3A3000/3B3000 的基础上进行了大幅升级, 集成新一代的 GS464v 处理器核, 支持 LoongISA 2.0 指令集, 支持 256 位向量指令。龙芯 3A4000 有商业级和工业级芯片, 面向桌面和高端嵌入式及恶劣环境服务器应用, 高质量等级芯片名称为龙芯 3A3500-J; 龙芯 3B4000 只有商业级芯片, 面向服务器商业级环境应用, 可以支持双路和四路互连系统。龙芯 3A4000 处理器片内集成了安全可信模块, 该模块将安全可信技术和通用计算处理器技术进行融合设计, 提供了高性能的密码算法服务能力、可信计算服务能力和硬件级的安全防护能力, 为用户提供了全新的、灵活的安全解决方案, 可构建自主可控的安全可信信息系统生态链。

龙芯 3A4000/3B4000 处理器进行了封装优化, 不再继续兼容龙芯 3A3000, 新的引脚定义将作为未来几代处理器的兼容封装长期使用, 尺寸缩小至 37.5mmx37.5mm, 引脚个数增加至 1211。

龙芯 3A4000/3B4000 相比龙芯 3A3000/3B3000, SPEC CPU2006 同主频定浮点结果提升了 50%。龙芯 3A4000 的 SPEC CPU2006 单核测试分值约 20 分@2.0GHz, 即达到 10 分/GHz。

龙芯 3A4000/3B4000 处理器对多片互连进行了大幅优化, 跨片访存带宽成倍提升, 多路系统可扩展性大大增强。

- 片内集成 4 个 64 位的四发射超标量 GS464v 高性能处理器核, 主频 1.5~2.0GHz;
- 峰值浮点运算能力 96GFLOPS@1.5GHz;

- 片内集成 8 MB 的分体共享三级 Cache (由 4 个体模块组成, 每个体模块容量为 2MB) ;
- 通过目录协议维护多核及 I/O DMA 访问的 Cache 一致性;
- 片内集成 2 个 72 位 DDR4 控制器, 支持 DDR4-2400;
- 片内集成 2 个 16 位 HyperTransport 控制器 (以下简称 HT), 总线频率 2.4GHz;
- 每个 16 位的 HT 端口可拆分成两个 8 路的 HT 端口使用。
- 片内集成 2 个 I2C、2 个 UART、1 个 SPI、16 路 GPIO 接口。
- 商业级和工业级芯片采用 FC-BGA1211 封装, 尺寸为 37.5mm\*37.5mm; 高质量等级芯片采用 CCGA1211 封装, 尺寸见详规。
- 龙芯 3A4000 工业级芯片 (名称为龙芯 3A4000-I) 主频为 1.2~1.45GHz。龙芯 3A4000-I 在主频 1.2GHz 和核心电压为 1.0v 时常温功耗约 13 瓦, 在主频 1.45GHz 和核心电压为 1.15v 时常温功耗约 20 瓦; 在高温下, 主频为 1.2GHz 的芯片高温功耗约 20 瓦, 主频为 1.45GHz 的芯片高温功耗约 30 瓦。
- 龙芯 3A3500-J 芯片 (龙芯 3A4000 的高质量等级芯片) 主频为 1.2GHz, 核心电压为 1.05v。在主频 1.2GHz, 核心电压为 1.05v 时常温功耗约 15 瓦, 高温功耗约 20 多瓦。

2019 年 10 月推出龙芯 3A4000 正样商业级芯片, 2020 年上半年推出主频为 1.45GHz 的工业级芯片龙芯 3A4000-I, 2020 年下半年推出主频为 1.2GHz 的高质量等级芯片龙芯 3A3500-J。

## (2) 龙芯 2K1000

龙芯 2K1000 处理器是龙芯 2H 的升级芯片, 其计算性能和 IO 带宽比龙芯 2H 都大幅提高。龙芯 2K1000 主要面向网络通信应用, 兼顾终端及控制领域应用。其芯片内集成 2 个 GS264e 处理器核, 主频 1GHz (工业级为 800~900MHz), 64 位 DDR3 控制器, 2 个 GMAC 控制器, 2 个 x4 PCIE 控制器 (可配置成为 6 个 x1 模式), 以及众多 IO 接口。

龙芯 2K1000 的主要技术特点如下:

- 集成两个 64 位的双发射超标量 GS264 处理器核, 商业级芯片主频 1GHz, 工业级芯片主频 800~900MHz; 理论峰值运算速度为 8GFlops
- 每个核有 32KB 数据 Cache 和 32KB 的指令 Cache
- 集成共享的 1MB 二级 Cache;
- 集成 GPU, 显示控制器, 支持双路 DVI 显示;
- 集成 64 位 533MHz 以上的 DDR2/3 控制器; 可配置为 32/16 位
- 集成 2 个 x4 PCIE2.0 接口; 可以拆分为 6 个独立 x1 接口;
- 集成 1 个 SATA2.0 接口;

- 集成 4 个 USB2.0 接口；
- 集成 2 个 RGMII 千兆网接口；
- 集成 HDA/AC97/I2S 接口；
- 集成 RTC/HPET 模块；
- 集成 1 个全功能串口，最多可配置 12 个 UART 控制器（需要配置工作模式）；
- 集成 1 个 NAND 控制器；
- 集成 2 个 CAN 控制器；
- 集成 1 个 SDIO 控制器；
- 集成 1 个 SPI 控制器；
- 集成 2 个 I<sup>2</sup>C 控制器；
- 支持 AES、DES 和 RSA 算法加解密；
- 采用 FC-BGA608 封装，尺寸为 27mm×27mm；
- 集成动态功耗控制模块，常温功耗约 3~5 瓦；
- 龙芯 2K1000 专用工业级芯片主频 800~900MHz；高质量等级产品主频 800MHz；
- 部分功能采用引脚复用方式，具体细节见芯片手册或咨询龙芯工程师。

龙芯 2K1000 于 2017 年上半年推出样品，2018 年推出专用工业级芯片龙芯 2K1000-I。2020 年推出高质量等级产品龙芯 2K1000-J。

### （3）龙芯 1A500

龙芯 1A500 是龙芯 1A 处理器的升级产品，其目标是为工控互联网应用、打印终端、BMC 等提供多种解决方案。龙芯 1A500 采用 40nm 工艺实现，主频 500M~800MHZ。片内集成定点处理器、浮点处理器、图形图像处理功能，以及南桥、北桥等配套芯片组功能。

龙芯 1A500 的主要技术特点如下：

- 集成一个 GS264 双发射龙芯处理器核，L1 Cache (I/D) 32KB，L2 Cache 512KB；
- 集成 1 个 32 位 533MHz DDR3 控制器；
- 集成 2D GPU，兼容 OpenGL ES2.0；
- 集成两路显示控制器，最大分辨率可支持到 1920\*1080@60Hz/24bit；
- 集成 PCIE gen2 控制器，支持 2 路 x1，支持 RC/EP 模式；
- 集成 PCI 控制器，支持 HOST/DEVICE；
- 集成 2 个 SATA2.0 接口；
- 集成 2 个 10M/100M/1000M 自适应 GMAC，支持 RGMII/MII；
- 集成 4 个 USB2.0 HOST 接口，其中一个可配置为 OTG 接口；
- 集成 1 个 USB3.0 HOST 接口；

- 集成 1 个 8 位 NAND FLASH 控制器，支持 MLC，支持系统启动；
  - 集成 6 个 SPI 控制器，1 路支持系统启动；
  - 集成 1 个 LPC 控制器，支持主从模式；
  - 集成 6 路 IIC 控制器，兼容 SMBUS；
  - 集成 1 个打印机控制器；
  - 集成 HDA/AC97 接口；
  - 集成 10 路 UART 串口；
  - 集成 4 个 CAN 控制器；
  - 集成 1 个 PS/2 控制器；
  - 集成 2 个 SDIO 控制器；
  - 集成 16 路 PWM 控制器；
  - 集成 155 路 GPIO 端口；
  - 集成 1 个温度传感器；
  - 集成 RTC/HPET；
  - 集成看门狗电路；
  - 集成 ACPI，支持网络唤醒；
  - 集成动态功耗控制模块，支持 DVFS/DPM；
  - 集成中断控制器，支持灵活的中断设置；
- 龙芯 1A500 于 2020 年下半年推出样品。

### 3.3 面向安全领域的芯片产品

#### (4) 龙芯 3A3000/3B3000

龙芯 3A3000/3B3000 采用 28nm 工艺，片内集成 4 个同构的 64 位超标量 GS464e 处理器核，8MB 的共享三级 Cache。该芯片在片内集成了两个 DDR3 内存控制器、两个 HT 3.0 高速数据传输接口控制器、一个 PCI 控制器、以及 LPC、SPI、UART、GPIO 等其他 IO 接口。两片或四片龙芯 3A3000/3B3000 可以通过 HT 端口连接成处理器核共享 Cache 的 CC-NUMA 结构。

龙芯 3A3000 的主要技术特点如下：

- 该芯片是龙芯 3A1500 的兼容升级产品；
- 包含四个四发射乱序执行的 64 位 GS464E 处理器核；
- 每个处理器核的一级指令和数据私有 cache 各为 64KB；

- 每个处理器核的二级私有 cache 为 256KB；
- 四个处理器核共享分布式 8MB 三级 cache；
- 两个 16 位或 8 位×2 的 HyperTransport 3.0 控制器；
- 两个 64 位支持 ECC 校验的 DDR2/3 控制器；
- 一个 32 位 PCI 控制器，一个 LPC 控制器，一个 SPI 控制器，两个 UART 控制器，16 个 GPIO；
- 支持 EJTAG；
- 基于 28nm 工艺；
- 封装：BGA1121，尺寸为 40mm×40mm；
- 商业级龙芯 3A3000 主频为 1.5GHz，功耗约 30 瓦，2017 年底推出，Spec2006 测试的单核定点和浮点分值都超过 10 分，四核定点和浮点分值都超过 30 分；
- 专用工业级产品龙芯 3A3000-I 芯片主频为 1.0~1.2GHz，其中 1.0GHz 的龙芯 3A3000-I 在核心电压为 1.0V 时常温功耗 12~15 瓦，1.2GHz 的龙芯 3A3000 在核心电压为 1.15V 时常温功耗 16~20 瓦。

龙芯 3B3000 主频为 1.3~1.5GHz，其内部结构与龙芯 3A3000 相同，专门面向商业级服务器产品，支持多路互连。工业级服务器产品使用工业级龙芯 3A3000 芯片。

## （5）龙芯 7A1000

龙芯 7A1000 型桥片是龙芯 3 号处理器的第一款专用芯片组产品，目标是替代 AMD RS780+SB710 芯片组或龙芯 2H 兼用桥片，为龙芯处理器提供南北桥功能。

龙芯 7A1000 的主要技术特点如下：

- 16 位 HT 3.0 接口；
- 2D/3D GPU；
- 显示控制器，支持双路 DVO 显示；16 位 DDR3 显存控制器；
- 3 个 x8 PCIE 2.0 接口；每个 x8 接口都可以拆分为 2 个独立的 x4 接口；
- 2 个 x4 PCIE 2.0 接口；可以拆分为 6 个独立 x1 接口；
- 3 个 SATA 2.0；
- 6 个 USB 2.0；
- 2 个 RGMII 千兆网接口；
- HDA/AC97；
- RTC/HPET 模块；
- 1 个全功能 UART 控制器；
- 6 个 I2C 控制器；

- 1 个 LPC 控制器；
- 1 个 SPI 控制器；
- 多个 GPIO 引脚；
- 支持 ACPI 规范；
- 采用 FC-BGA804 封装；
- 常温功耗不超过 6 瓦。

龙芯 7A1000 于 2017 年底推出样品，2018 年上半年推出专用工业级产品龙芯 7A1000-I，2020 年推出高质量等级产品龙芯 7A1000-J。

## （6）龙芯 3A1500/2000

龙芯 3A1500/2000 采用 40nm 工艺，片内集成 4 个同构的 64 位超标量 GS464e 处理器核，4MB 的共享三级 Cache。该芯片在片内集成了两个 DDR2/3 内存控制器、两个 HT 3.0 高速数据传输接口控制器、一个 PCI 控制器、以及 LPC、SPI、UART、GPIO 等其他 IO 接口。两片或四片龙芯 3A1500 可以通过 HT 端口连接成处理器核共享 Cache 的 CC-NUMA 结构。

龙芯 3A1500 芯片为工业级和高质量等级芯片，功耗较小，应用于安全应用领域的宽温及其他恶劣环境；龙芯 3A2000 为商业级芯片，工作主频为 1GHz，功耗比龙芯 3A1500 大不少，无法用于恶劣环境。

龙芯 3A1500 的主要技术特点如下：

- 该芯片是龙芯 3A1000 的兼容升级产品；
- 包含四个主频为 700-1000MHz 的四发射乱序执行的 64 位 GS464E 处理器核，推荐工作主频 800MHz；
- 每个处理器核的一级指令和数据私有 cache 各为 64KB；
- 每个处理器核的二级私有 cache 为 256KB；
- 四个处理器核共享分布式 4MB 三级 cache；
- 两个 16 位或 8 位×2 的 HyperTransport 3.0 控制器；
- 两个 64 位支持 ECC 校验的 DDR2/3 控制器；
- 一个 32 位 PCI 控制器，一个 LPC 控制器，一个 SPI 控制器，两个 UART 控制器，16 个 GPIO；
- 支持 EJTAG；
- 低功耗的设计，与龙芯 3A1000 相当，龙芯 3A1500 常温功耗约 15W，工业级芯片高温功耗约 20~25 瓦；

- 基于 40nm LL 工艺；
- 封装：BGA1121，尺寸为 40mm×40mm；
- 宽温等级芯片工作温度范围为-40℃ -- +85℃。
- 高质量等级芯片工作温度范围为-55℃ -- +125℃。

龙芯 3A1500/2000 是龙芯公司结合市场需求研制的第二代产品，从 2012 年开始，历时三年研制而成，2015 年流片成功。针对市场上主流通用信息处理业务的计算特点，把处理器核做精做强，内存带宽提升十倍。龙芯 3A1500/2000 处理器核 GS464E 微结构与 Intel 的 i3 处理器核等可比，明显优于 ARM A57 和威盛 NANO，如图 3.2 所示。龙芯 3A1500/2000 的自主性强，包括处理核 GS46E 在内的全芯片代码均自主设计，除标准单元和 Memory Compiler 编译的 RAM 以外，全芯片没有第三方 IP，同时在境内流片生产。

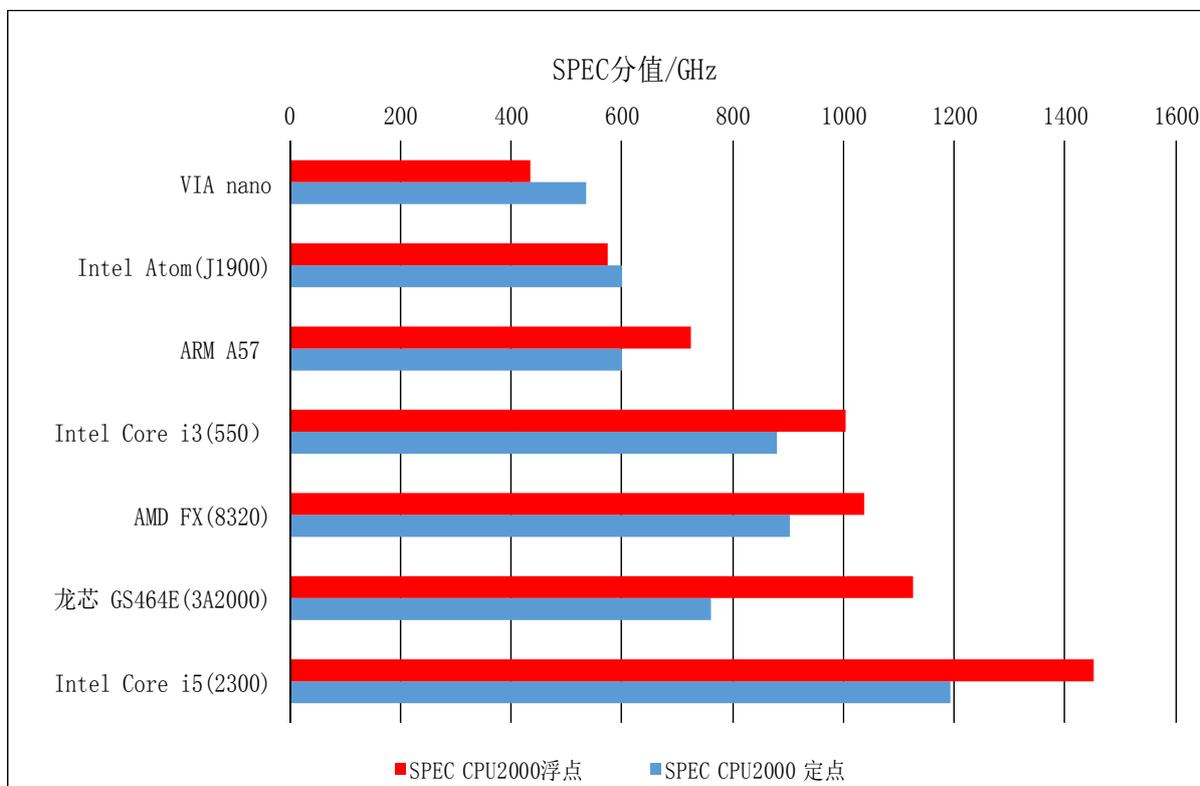


图 3.2 不同微结构每 GHz 的 SPEC CPU2000 分值

## (7) 龙芯 2J0800 和龙芯 2J1500

龙芯 2J0800（简称龙芯 2J）使用 65nm 工艺、集成了 MIPS64 兼容的 GS464 IP、二级 Cache 为 1MB、片上集成了两个 GMAC 控制器及其它标准接口。

龙芯 2J 的主要结构特点如下：

- 采用 65nm 工艺，主频 800MHz；
- 集成 GS464 四发射 64 位高性能龙芯处理器核；
- 兼容 MIPS64 指令系统；
- 集成 64KB 指令 Cache 和 64KB 数据 Cache；
- 集成 1MB 二级 Cache；
- 集成 64+8 位 DDR2/3 内存控制器；
- 集成 2 个 GMAC 控制器；
- 集成 32 位 PCI/PCIX 控制器；
- 集成 LPC、SPI、UART 等接口；
- 陶瓷和塑料两种封装形式，采用 BGA500 封装，尺寸为 31mm×31mm；
- 高质量等级芯片龙芯 2J 工作温度范围为-55℃ -- +125℃，宽温等级芯片龙芯 2I 工作温度范围为-40℃ -- +85℃。

龙芯 2J1500 是龙芯 2J 的升级芯片，处理器核从 GS464 升级到 GS464e，采用 40nm LL 工艺流片，主频仍为 800MHz，但计算性能提高 1~2 倍，访存带宽提高一个数量级。龙芯 2J1500 为高质量等级器件，质量等级高，2018 年提供产品芯片。

## (8) 龙芯 2H

龙芯 2H（龙芯 2H1000）既可以作为独立 SOC，为小型控制系统和移动信息终端提供单片解决方案；也可以作为 HT 接口的南桥，与龙芯 3A/3B 配套使用。

龙芯 2H 的主要结构特点如下：

- 集成 GS464 四发射 64 位龙芯处理器核；
- 兼容 MIPS64 指令系统；
- 集成 64KB 指令 Cache 和 64KB 数据 Cache；
- 集成 512KB 二级 Cache；
- 集成 GS232 双发射 32 位处理器核，实现 AVS 和 H. 264 等高清解码器；
- 集成 64+8 位 DDR2/3 内存控制器；
- 集成 HT 控制器，支持 1 个 x8 接口；

- 集成 PCI-E 控制器，支持 1 个 x4 接口或者 4 个 x1 接口；
- 集成 2D/3D GPU 图形处理器，支持基本图形图像加速功能；
- 集成 400MHz DAC，提供 RGB 和 DVO 显示接口；
- 集成 1 个 AHCI SATA 2.0 控制器，支持 2 个 SATA 设备；
- 集成 2 个 10/100/1000Mbps 以太网 MAC 控制器，支持 RGMII 接口；
- 集成 USB2.0 EHCI 和 USB 1.1 OHCI 控制器，支持 6 个 USB 设备；
- 集成 1 个通用音频架构的高保真音频接口；
- 集成 1 个 SPI 接口，并支持从 SPI EEPROM 接口启动；
- 集成 1 个 LPC 1.0 兼容接口控制器；
- 集成 1 个标准 16550 UART 接口；
- 集成电源管理功能；
- 采用 65nm 工艺，BGA741 封装；
- 宽温级芯片工作温度范围为-40℃ -- +85℃。

龙芯 2H 于 2014 年起提供商业级产品芯片。2015 年后提供工业级产品。

## (9) 龙芯 1A

龙芯 1A（龙芯 1A0300）既可以作为独立 SOC，也可以作为 PCI 南桥与龙芯 2 号处理器配合使用。其主要技术特点如下：

- 集成一个 GS232 双发射龙芯处理器核，含 16KB/16KB 一级 Cache；
- 集成 1 个 32 位 DDR2 控制器；
- 集成 PCI，支持主从模式；
- 集成 2D GPU；
- 集成两路 DC 控制器，最大分辨率可支持到 1920\*1080@60Hz/ 24bit；
- 集成 2 个 10M/100M/1000M 自适应 MAC；
- 集成 2 个 SATA2；
- 集成 4 个 USB 2.0 接口，兼容 EHCI 和 OHCI；
- 集成 1 个 8 位 NAND FLASH 控制器；
- 集成中断控制器，支持灵活的中断设置；
- 集成 2 个 SPI 控制器，支持系统启动；

- 集成 AC97 控制器；
- 集成 LPC 控制器；
- 集成 4 路串口；
- 集成 PS2；
- 集成 3 路 I2C 控制器，兼容 SMBUS；
- 集成 2 个 CAN 总线控制器；
- 集成至少 62 个 GPIO 端口；
- 集成 1 个 RTC 接口；
- 集成 4 个 PWM 控制器；
- 集成 ACPI；
- 集成看门狗电路；
- 封装：BGA448 封装，尺寸为 23mm×23mm；
- 130nm 工艺下主频为 233~266MHz，功耗不超过 1W；
- 宽温级芯片龙芯 1Ai 工作温度范围为-40℃ -- +85℃；高质量等级产品龙芯 1A500 的工作温度范围为-55℃ -- +125℃。

龙芯 1A 工业级产品于 2014 年提供。2019 年研制龙芯 1A500, 在龙芯 1A 基础上进行性能改进，2020 年将推出龙芯 1A500 芯片。

## (10) 龙芯 1B

龙芯 1B（龙芯 1B0300）是一颗独立的 SOC 芯片，其主要技术特点如下：

- 集成一个 GS232 双发射龙芯处理器核，含 8KB/8KB 一级 Cache；
- 1 个 32/16 位 DDR2 控制器；
- LCD 控制器，最大分辨率可支持到 1920\*1080@60Hz/16bits；
- 2 个 10M/100M/1000M 自适应 MAC；
- 1 个 USB 2.0 接口，兼容 EHCI 和 OHCI；
- 1 个 8 位 NAND FLASH 控制器；
- 2 个 SPI 控制器，支持主从模式，支持系统启动；
- 1 个全功能串口、1 个四线串口和 10 个两线串口，合计 12 个串口；
- 3 路 I2C 控制器，兼容 SMBUS；
- 2 个 CAN 总线控制器；
- 62 个 GPIO 端口；
- 4 个 PWM 控制器；

- 看门狗和 AC97 控制器；
- BGA256 封装；
- 130nm 工艺下主频为 200~266MHz，功耗不超过 0.5W；
- 宽温级芯片龙芯 1Bi 工作温度范围为-40℃ -- +85℃。

龙芯 1B 工业级芯片龙芯 1Bi 于 2014 年推出。

## 3.4 成熟的历史产品

成熟的历史芯片产品主要包括龙芯 3A1000 和龙芯 2F。

### (11) 龙芯 3A1000

龙芯 3A1000(简称龙芯 3A)采用 65nm 工艺,片内集成 4 个同构的 64 位超标量 GS464 处理器核, 4MB 的共享二级 Cache。龙芯 3A1000 在片内集成了两个 DDR2/3 内存控制器、两个 HT 高速数据传输接口控制器、一个 PCI 控制器、以及 LPC、SPI、UART、GPIO 等其他 IO 接口。龙芯 3A1000 是龙芯 3 号系列的第一个产品,早期的定型项目采用龙芯 3A1000,新研的项目一般采用龙芯 3A1500 及更先进芯片。

龙芯 3A1000 的主要技术特点如下:

- 包含四个主频为 700-900MHz 的四发射乱序执行的 64 位 GS464 处理器核；
- 每个处理器核的一级指令和数据 cache 各为 64KB；
- 由四个处理器核共享的 4MB 分布式二级 cache；
- 两个 800MHz, 16 位或 2 个 8 位的 HyperTransport 1.0 控制器；
- 两个 400MHz 64 位支持 ECC 校验的 DDR2/3 控制器；
- 一个 32 位 PCI/PCI-X 控制器, 一个 LPC 控制器, 一个 SPI 控制器, 两个 UART 控制器, 16 个 GPIO；
- 支持 EJTAG；
- 低功耗的设计, 常温功耗约 15W, 高温功耗约 20 瓦；
- 基于 65nm CMOS 工艺；
- 封装: BGA1121, 尺寸为 40mm×40mm；
- 宽温等级芯片工作温度范围为-40℃ -- +85℃。

## (12) 龙芯 2F

龙芯 2F0800（简称龙芯 2F）主要面向网络安全、高端嵌入式设备、工控等应用领域。龙芯 2F 支持 64 位 MIPS III 指令集，采用先进的四发射乱序执行结构，包含片上一级指令/数据缓存各 64KB、二级缓存 512KB。采用 90nm 的 CMOS 工艺，晶体管数目为 5100 万，实测功耗 3~5 瓦。片上集成了龙芯 2 号 CPU 核、DDR2 内存控制器、PCI 接口、Local bus、中断控制器等部件。

龙芯 2F 的具体技术特性如下：

- 采用 90nm CMOS 工艺，主频 800MHz；
- 64 位 MIPS III 及扩展指令集兼容；
- 四发射动态超标量结构，支持 2 个定点部件，2 个浮点部件和一个访存部件；
- 9 级超流水线，支持寄存器重命名、动态调度、转移预测等乱序执行技术；
- IEEE 754 兼容的浮点部件，每个浮点部件都支持全流水浮点乘加运算，硬件实现浮点除法和开方运算，并支持多媒体加速；
- 64 项全相联 TLB，每项映射两页，页大小 4KB~4MB 可变；独立的 16~32 项指令 TLB，支持可执行位以防止缓冲区溢出攻击；
- 分离的片上一级指令 Cache 和数据 Cache，4 路组相联，大小各为 64KB，每块 32 字节；
- 512KB 片上 4 路组相连二级 Cache（每块 32 字节），能够由软件控制打开或关闭；
- 集成 64 位 DDR2 内存控制器，最高 333MHz 频率；
- 支持 PCI 总线扩展；
- 功耗：800MHz 主频下功耗约 3.5 瓦；
- 封装：采用 BGA452，尺寸为 27mm×27mm；
- 工业级芯片工作温度范围为-40℃ -- +85℃。

## 四、龙芯解决方案

龙芯的产品线齐全，品类丰富，提供了各种应用领域所需的解决方案。龙芯解决方案众多，由于单芯片方案比较简单，这里主要推荐几个典型的多芯片方案。

为了统一内核软件，龙芯中科对外部设备连接方式、中断、地址空间分配和固件内核传参方法等内容作了一些标准化要求，各有关单位进行解决方案二次开发时，务必阅读相关内容并完全遵守这些要求。

三个高质量等级的解决方案已经在第二章进行介绍，这里不再重复。

### (1) 龙芯双 3A4000+7A1000 方案

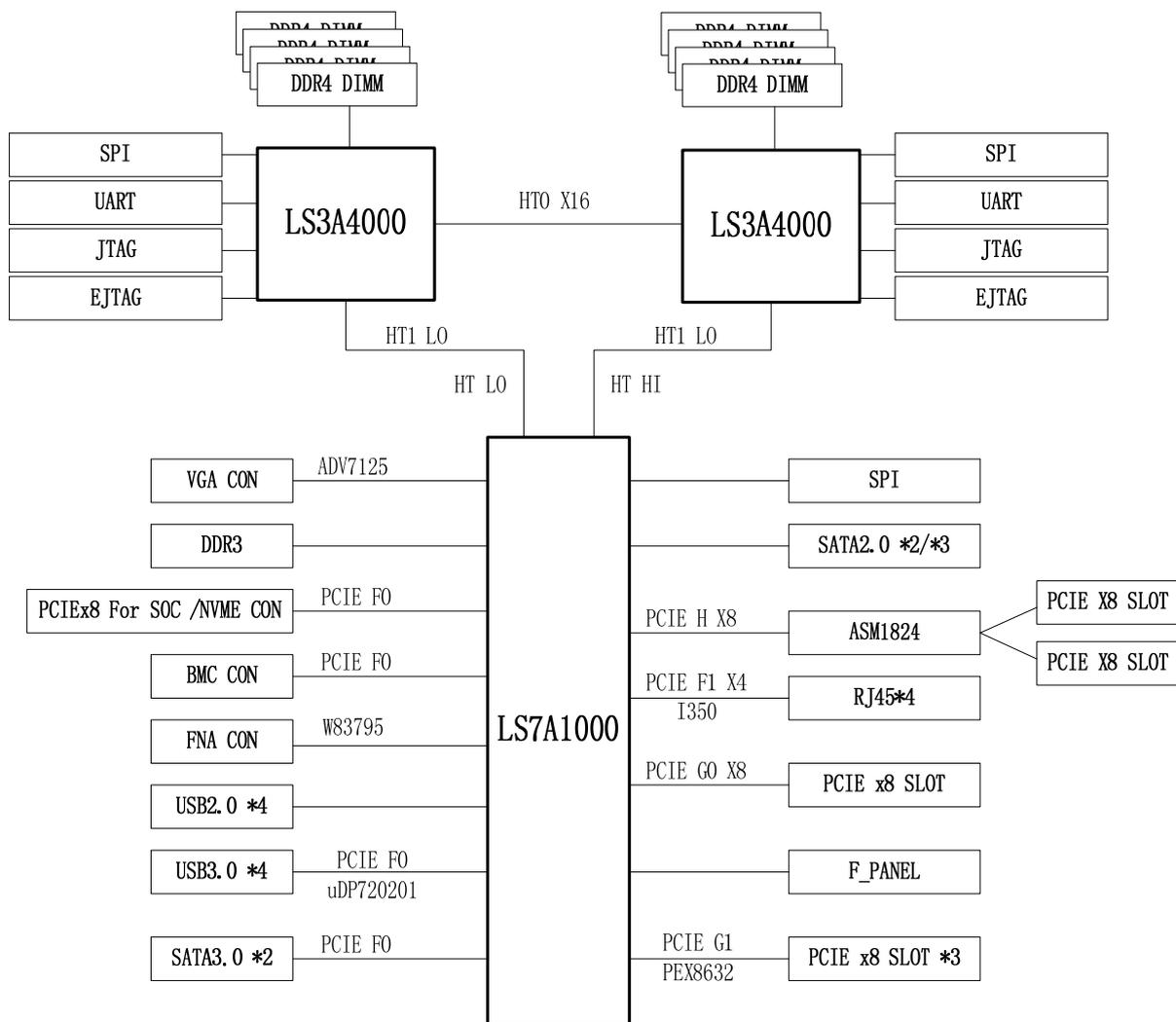


图 4.1 龙芯 3A/B4000 搭配龙芯 7A1000 方案（双路）

龙芯双 3A4000 搭配龙芯 7A1000 桥片是 3A4000+7A1000 的双路版本，两颗龙芯 3A4000 通过 HT 总线与 7A1000 桥片连接，同时两颗龙芯 3A4000 之间也通过 HT 总线互联。双 3A4000+7A1000 的解决方案，可以满足有较高性能要求，并且对国产化率有一定要求的场合。龙芯 3A4000 搭载 7A1000 的双路主板由 3A4000\*2+7A1000、内存、显示、SATA、网口、PCIE、USB 等模块组成，板卡设计总体框图如图 4.1 所示。全国产双 3A4000+7A1000 6U VPX 板卡方案芯片选型框图如图 4.2 所示，详细器件选型可咨询龙芯中科技术人员。

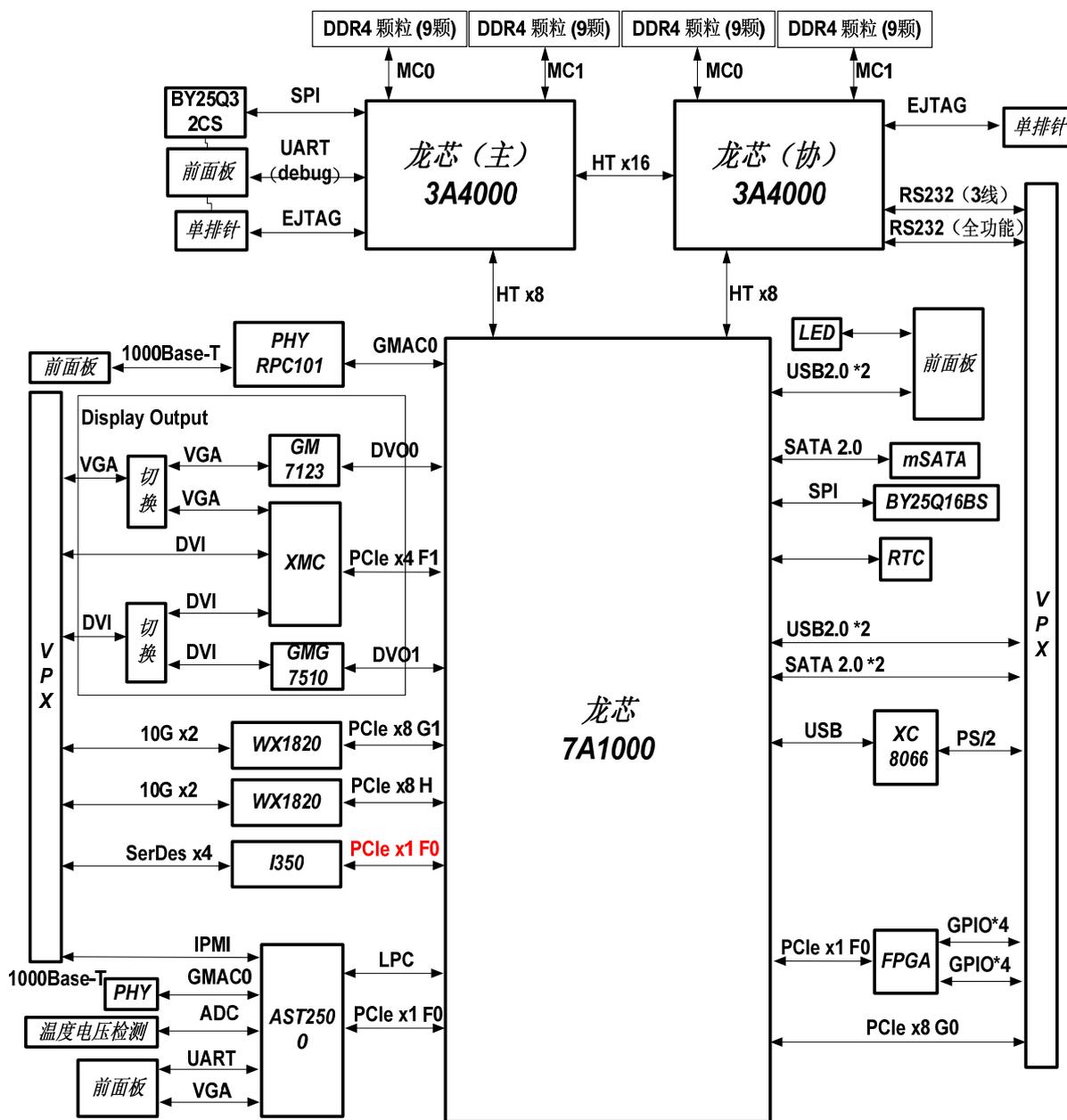


图 4.2 全国产双 3A4000+7A1000 6U VPX 板卡方案芯片选型

## (2) 龙芯 3A3000+7A1000 6U CPCI/CPEX 方案

龙芯 3A3000+LS7A1000 6U CPCI/CPEX 模块的主要功能：采用龙芯 3A3000 处理器和 7A1000 桥片的 6U CPCI/CPEX 接口计算机模块，该计算机模块具有完整的计算机功能，集成网络、电子盘、串口、CPCI Express 接口、显示、声卡等功能，分别如图 4.3 和 4.4 所示。该计算机模块可作为独立的计算机模块使用。

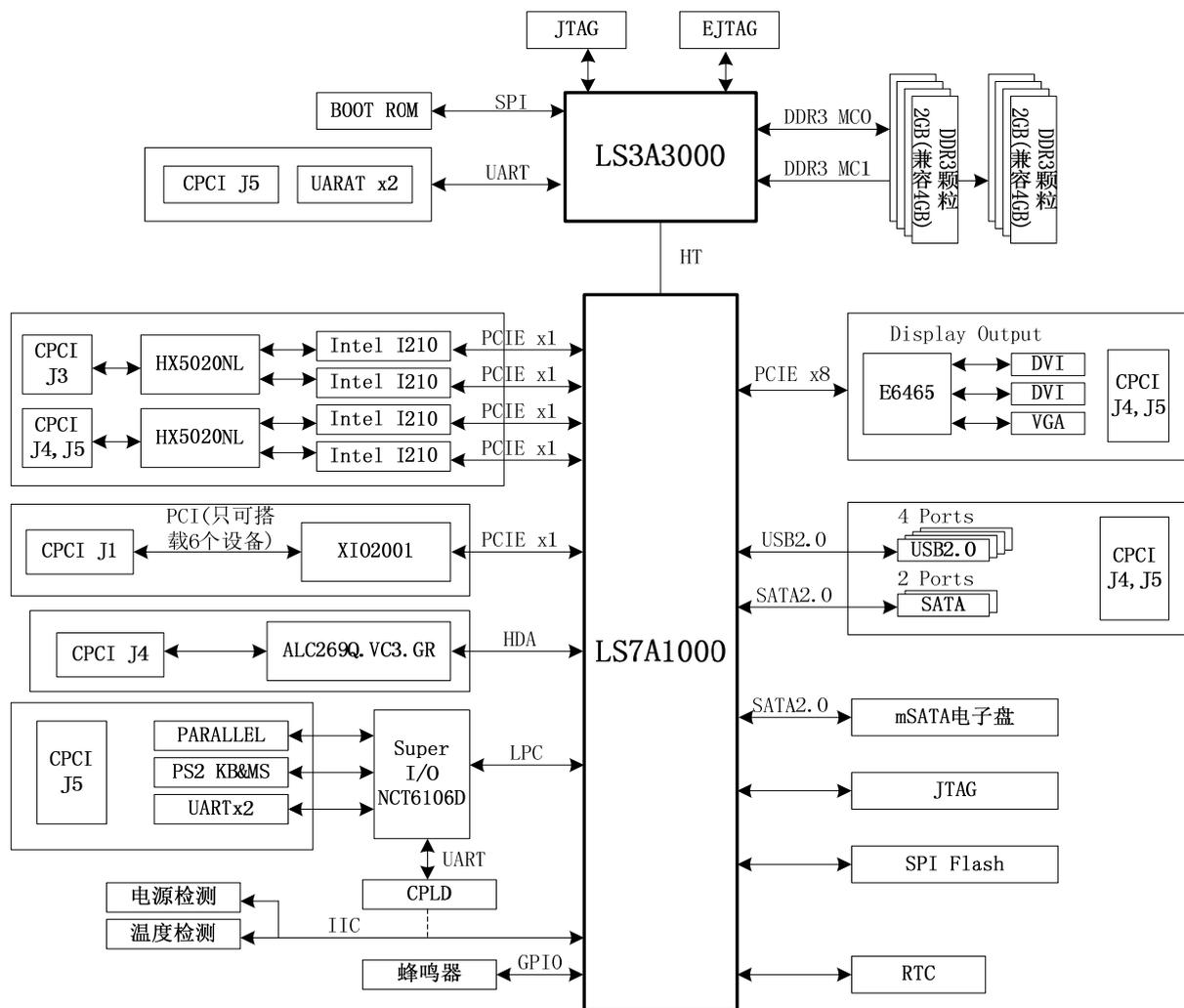


图 4.3 LS3A3000+LS7A1000 6U CPCI 计算机模块整体框图

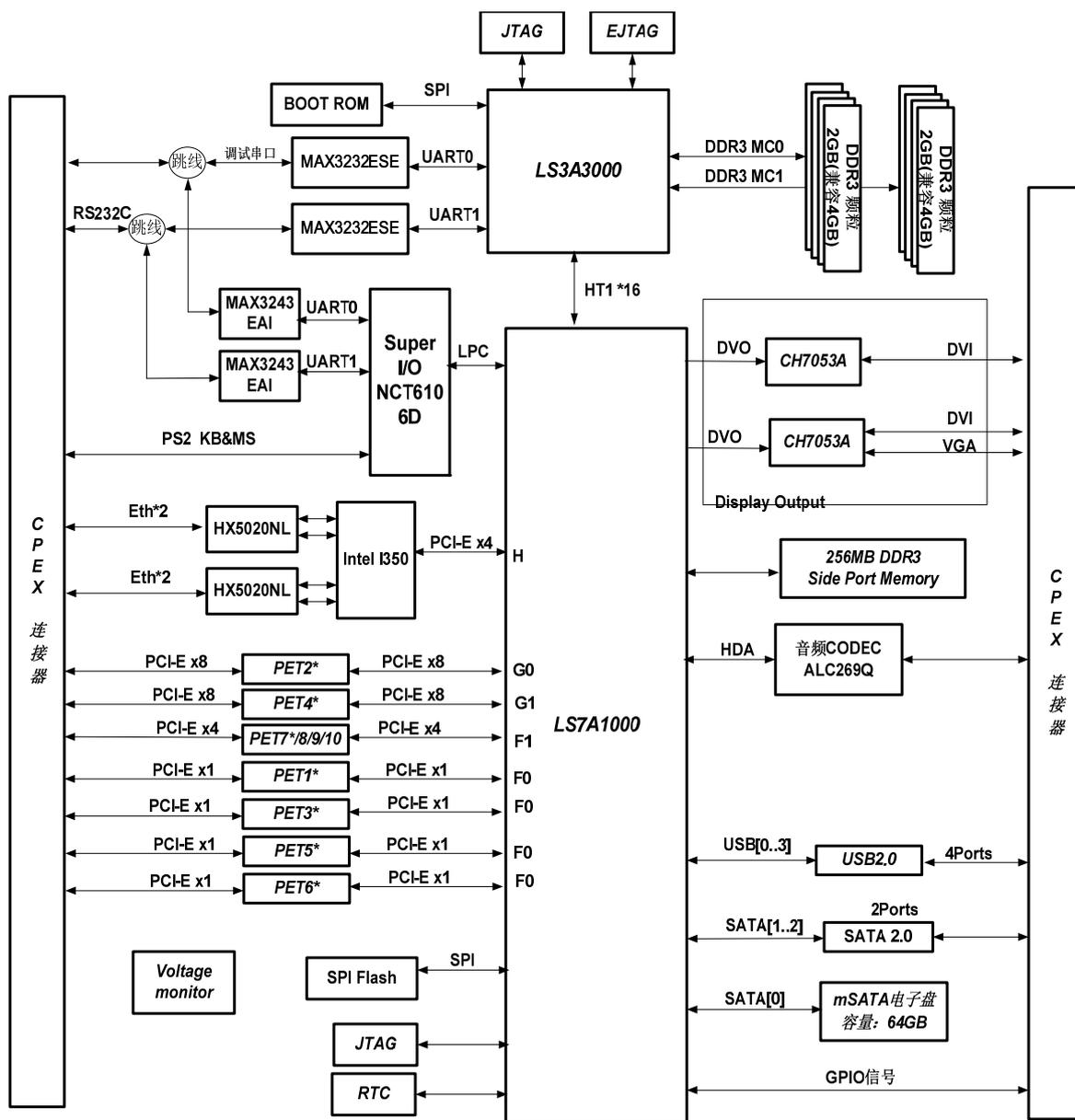


图 4.4 LS3A3000+LS7A1000 6U CPEX 计算机模块整体框图

### (3) 龙芯双 3A3000+7A1000 6U VPX 方案

龙芯双 3A3000+7A1000 6U VPX 方案，支持双路 3A3000 处理器，16GB 板载 DDR3 内存，7A1000 桥片，支持 SATA 电子盘和 SATA 硬盘存储，支持一路 VGA 和一路 DVI 显示，支持 6 路网络接口，支持 6 路 USB2.0 接口，支持 2 路 RS232 串口，支持 1 路 PS/2 键盘鼠标接口，支持 RTC 断电保持功能，支持 GPI 控制功能，支持外部供电控制功能，支持 GPIO 扩展，支持 2 路 PCIE 2.0 X8，1 路 PCIE 2.0 X4 总线扩展，主板上集成 CPLD 用于实现逻辑控制，支持 KVM OVER IP 管理接口等。

软件使用 PMON 实现 Boot loader，适配国产操作系统，支持数据库和 QT 图形化组件，支持软关机功能，支持 GPIO 控制功能，支持温度电压监测，支持 KVM OVER IP 功能。

龙芯双 3A3000+7A1000 6U VPX 方案整体框图如图 4.5 所示：

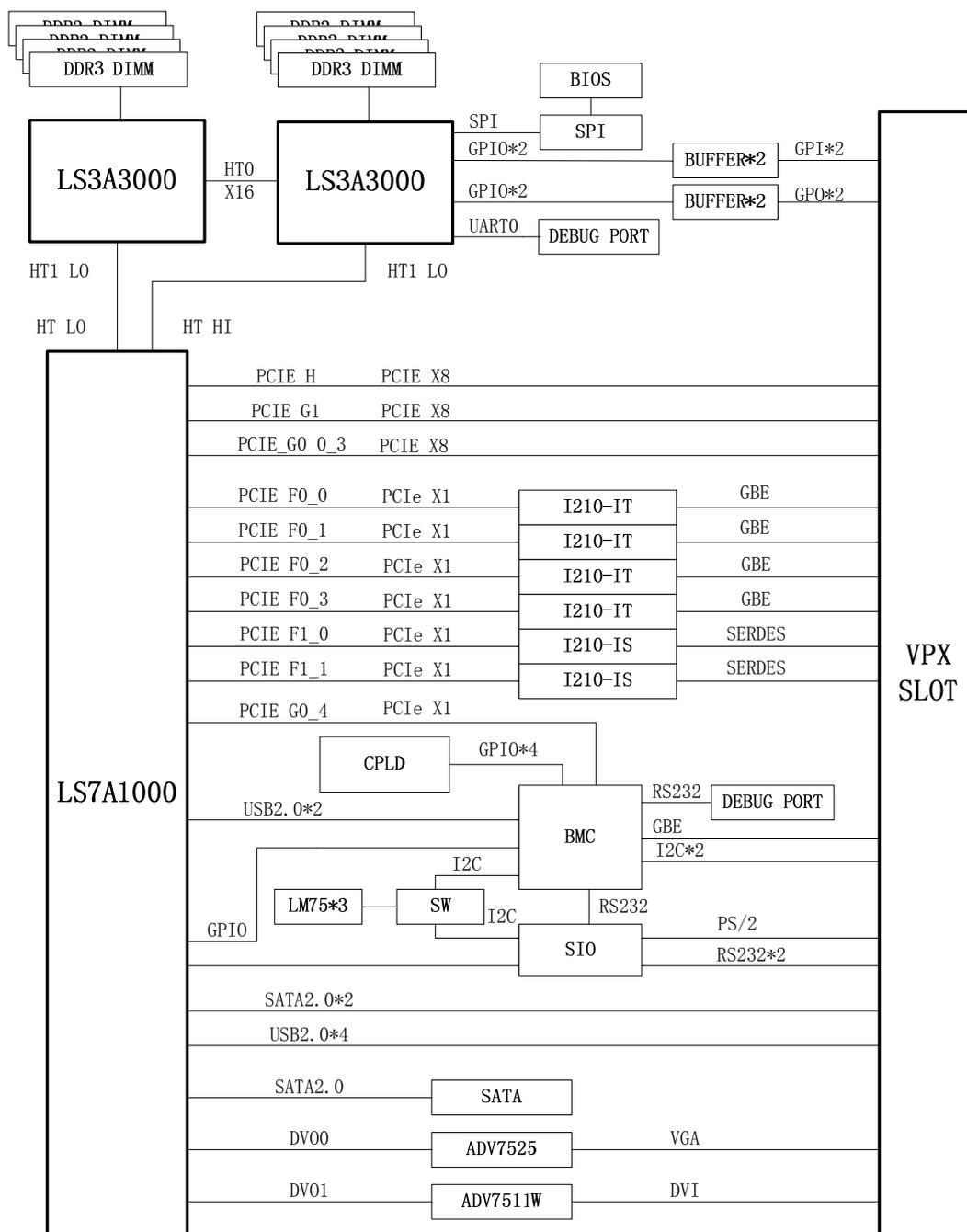


图 2.8 龙芯双 3A3000+7A1000 6U VPX

#### (4) 龙芯 2K1000 平板电脑方案

本方案是使用龙芯 2K 做低功耗、高集成度的平板电脑，适用于个人通讯和信息处理终端、数字化仪表、电子文档应用环境、北斗导航和定位等应用，如图 4.6 所示。

龙芯 2K1000 处理器是龙芯 2H 的升级芯片，其计算性能超过龙芯 2H 一倍以上，访存和 IO 带宽比龙芯 2H 提高数倍，采用先进工艺后功耗比龙芯 2H 有明显下降，故采用龙芯 2K1000 做平板类便携式设备有一定的竞争力。

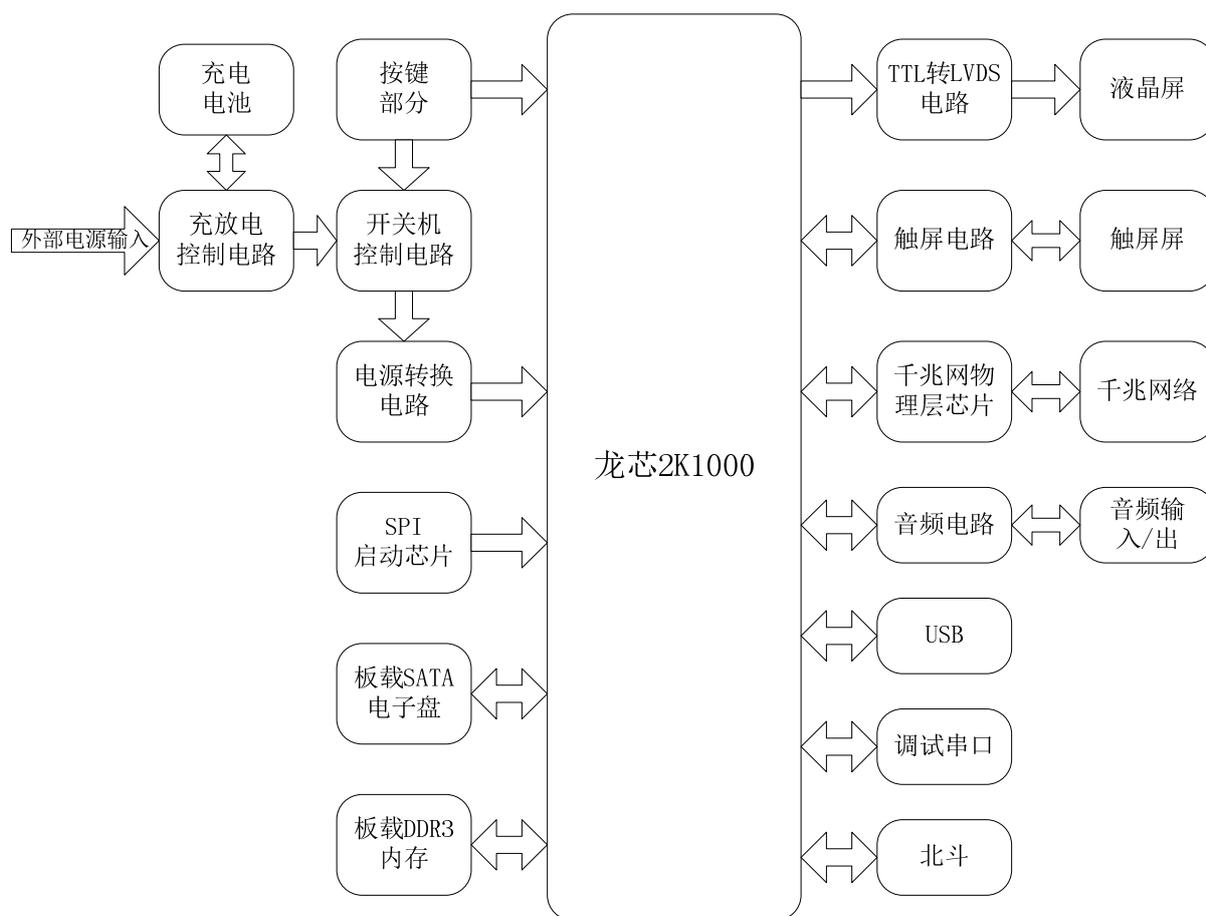


图 4.6 龙芯 2K1000 平板电脑方案

#### (5) 代替 ARM 和 PowerPC 的国产嵌入式方案

龙芯 2K1000 集成度非常高，主频 800MHz~1GHz，功能丰富，非常适合作为中高端 ARM 和 PowerPC 等外国芯片的国产化替代。龙芯 2K1000 可替换 PowerPC 处理器 82XX 系列、83XX 系列、85XX 系列、74XX 系列、86XX 系列、P10XX 和 P20XX 系列处理器，即可

替换国外 500~1500MHz 的单核或双核 PowerPC 处理器。表 4.1 表明龙芯 2K1000 可替换 P2020 处理器。

龙芯 1A 和龙芯 1B 集成度较高，主频 200~500MHz，功能丰富，可作为低端 ARM 和 PowerPC 等外国芯片的国产化替代。

表 4.1 龙芯 2K1000 与 PowerPC 处理器 P2020 比较

功能	龙芯 2K1000	P2020
CPU 核数	2	2
CPU 主频	800~1000MHz	800~1200MHz
核内一级缓存大小	32KB 数据缓存 32KB 指令缓存	32KB 数据缓存 32KB 指令缓存
共享二级缓存大小	1024KB	512KB
内存控制器	64 位 DDR3 控制器	64 位 DDR3 控制器
显示控制器	支持双路 DVO 显示 分辨率达 1920×1080	无
PCIE 2.0	2 个 x4 接口, 其中一个 x4 可配置 为 4 个 x1 接口, 另一个 x4 可配 置为 2 个 x1 接口	1 个 x4 接口, 2 个 x2 接口, 2 个 x1 接口
USB2.0 接口	4 个	2 个
SATA2.0 接口	1 个	无
网络控制器	2 个	3 个
NAND 控制器	1 个	无
串口控制器	12 个	2 个
CAN 控制器	2 个	无
SDIO 控制器	1 个	1 个
音频接口	1 个	无
SRIO 接口	无	2 个 x1 接口
LBC	1 个	eLBC
I <sup>2</sup> C	2 个	2 个
SPI	1 个	1 个
SerDes	无	x4
功耗	3~5 瓦	4~5 瓦

## 五、龙芯平台软件生态

基于国产 CPU 建立自主可控软硬件产业生态体系，是龙芯公司坚定不移的发展宗旨。龙芯公司在基础软件生态建设方面积极投入，联合国内自主软件品牌厂商及国际开源社区共同建设龙芯平台的软件生态。基于龙芯软件生态建设的成果，龙芯 CPU 已在桌面办公自动化、个人桌面电脑、数据库及应用服务器、三维图形显控等诸多复杂系统领域中得到规模应用。龙芯 CPU 的软件生态建设围绕 Linux 通用信息化系统、工控嵌入式系统和强实时嵌入式三大平台展开，最新信息可查询龙芯网站。

### 5.1 Linux 通用信息化系统

龙芯中科在浏览器、JAVA、图形图像、操作系统基础设施等重点技术领域设置专门的技术团队，在龙芯产业链合作厂商、开源社区及龙芯爱好者等共同努力下，系统全面地推进龙芯基础软件生态建设。**建立龙芯开源软件社区**(<http://www.loongnix.org>)，加强操作系统基础软件设施的研制优化，并发布龙芯开源社区版操作系统 Loongnix。以该社区版操作系统作为基础软件优化演进的成果验证环境，集成在内核、驱动、图形环境等方面的最新进展。积极参与到国际开源软件社区的研发工作，**将龙芯平台上的最新软件优化成果集成到上游开源软件社区**。目前已经向 Linux 内核、ffmpeg 编解码库、Chrome 浏览器、Mozilla Firefox 等开源软件贡献了大规模的代码，重要开源软件的主干分支中都已较为完善的实现了对龙芯架构的支持。**直接发布重要的 API 环境软件**，包括 Java 虚拟机、浏览器、QT、媒体播放器、编译器等。API 环境软件直接影响应用开发和实际系统性能，龙芯公司设置有专门的团队对其进行适配优化和长期产品维护，并且免费向产业链合作伙伴和龙芯用户开放。

#### (1) 操作系统发行版

龙芯平台的操作系统生态建设实行“以开源社区版为基础支持商业版和定制版发展”的生态模式，即龙芯公司发布开源的社区版操作系统 Loongnix，以此作为技术和产品源头，一方面支持品牌操作系统厂商研发其商业发行版产品，另一方面持 OEM 或整机企业等机构根据需求研发其定制版操作系统。

为了解决 Linux 系统生态中长期存在的“碎片化和兼容性”问题，龙芯的操作系统发展采用了“遵循统一系统架构和规范 API 应用编程环境”的技术路线。其中“系统架构”是操作系统和整机硬件间的界面，“API 编程环境”是操作系统与应用软件间的界面。通过遵循《龙芯统一系统架构规范》，实现操作系统跨主板整机兼容和 CPU 代际兼容，达到“任意一套龙芯操作系统可以安装在不同厂商不同时期龙芯整机”的目标。通过规范 API 应用编程环境，建立操作系统平台对 API 环境支持的版本识别度，在技术创新的同时保持 API 兼容，减轻应用开发者的版本维护压力，切实保护用户利益。

在上述发展方针下，龙芯平台的 Linux 操作系统有四大类，分别是龙芯开源社区发布的“社区版操作系统 Loongnix”、操作系统厂商发布的“商业操作系统”、OEM 整机企业研制的“定制版操作系统”和国际开源社区的“开源版本”。

①Loongnix 操作系统是龙芯开源社区推出的 Linux 操作系统，作为龙芯软件生态建设的成果验证和展示环境，集成了内核、Java 虚拟机、驱动、图形环境等操作系统基础设施方面的最新研发成果，以“源码开放、免费下载”的形式进行发布，可直接应用于日常办公、生产、生活等应用环境，同时可供合作厂商、科研机构及爱好者在龙芯平台上研发其品牌软件或专用系统。

②“商业操作系统”由操作系统厂商基于 Loongnix 操作系统研发，龙芯公司将内核、Java、驱动等基础核心软件以“开源、公开”的方式发布给操作系统厂商，支持厂商研发商业品牌的龙芯操作系统。目前龙芯版品牌操作系统有中标、深之度、普华、湖南麒麟、航天国盛及凝思等。

③“定制版操作系统”是 OEM/整机厂商在龙芯公司的支持下，以 Loongnix 社区版为基础研制的产品操作系统，技术体系上与 Loongnix 保持一致，为 OEM/整机厂商的技术创新提供可能。

④“国际开源社区版操作系统”是由 Debian 等国际开源社区发布的操作系统。龙芯开源社区积极开展与国际开源社区的合作，Fedora、CentOS、Debian、Ubuntu 等国际开源社区版操作系统已在龙芯平台上完成了适配和移植。这类国际开源社区版操作系统可以供兴趣爱好者进行技术预研。

Loongnix 发行版为原生 64 位系统，集成海量开源软件仓库，遵循龙芯统一系统架构，具有丰富的硬件与外设支持。Loongnix 发行版规划桌面、服务器和云三个产品路线，即 Loongnix-Desktop、Loongnix-Server 和 Loongnix-Cloud。

## (2) 龙芯统一系统架构与固件规范

“龙芯统一系统架构”确定了操作系统和整机硬件间的界面规范，它包括对 CPU 和桥片设计规格的定义与发展规范，对固件功能及对外接口的规范，对固件和操作系统间的接口规范。通过遵循“龙芯统一系统架构”，可以实现操作系统跨主板整机兼容和 CPU 代际兼容，达到“任意一套龙芯操作系统可以安装在不同厂商不同时期龙芯整机”的目标。

为了支持龙芯统一系统架构，龙芯公司制定发布了《龙芯固件与内核接口规范》和《龙芯固件与操作系统接口规范》等标准，同时随 Loongnix 操作系统发布有“龙芯统一系统架构兼容性测试集”，供主板厂商和固件厂商进行统一系统架构的兼容性检查。这些文档和工具可以从龙芯公司和龙芯开源社区网站上下载。

龙芯平台的固件包括开源 Pmon 和 UEFI 两大类，此外国际社区的 Uboot 等固件也在龙芯的系列开发板上完成了适配。国内的昆仑、百敖等固件厂商也研制发布了龙芯平台的固件产品。这些固件产品都遵循龙芯平台统一系统架构规范。龙芯平台开源的 Pmon 代码可以从龙芯开源社区网站上下载，关于其它固件可以联系龙芯公司相关业务部门获取技术支持。

## (3) Linux 内核

每一到两年，龙芯公司会从快速迭代的内核社区版本中选择一个最新长期维护版 (LTS)，以此为基础发布产品内核版本。每一代内核发布后，龙芯公司都会在保持 API 兼容、产品版本长期稳定的基础上，提供 3 年以上的产品生命周期研发和维护支持。

特别需要指出的是，在每一代龙芯内核产品版本发布后的生命周期中，该版本功能特性的研发并不停滞，除了进行 BUG 和安全修复外，还根据应用需求进行大量新功能的开发和反向移植，以保证该版本内核的功能完备性和技术先进性。

当前的龙芯 3.10 内核产品版本经过龙芯公司近年来长期的维护和升级，技术状态实际已与社区 4.9 版本（2018 年初发布）相当，技术先进性和功能完备程度能够满足绝大多数的应用需求。基于 3.10 内核构筑了经过规模适配验证、比较成熟可靠的产品生态。3.10 内核将作为重要的产品平台进行长期维护支持，以保护各厂商和用户的已有投资，推动相关信息应用健康稳步发展。

同时，下一代内核版本（4.19）的研发也正在开展，以满足新一代应用对内核产品版本的需求。

## (4) 编程语言与开发环境支持

龙芯操作系统平台支持 Java、C、Python、C++、JavaScript、PHP、SQL、Assembly language 等主流的编程语言，并设置了专业技术团队进行长期的研发和支持。2020 年龙芯公司发布龙芯版.net 的核心。

龙芯平台支持 GCC 和 LLVM 两大主流开源编译器。通过与社区的密切交互，两大编译器原生支持龙芯平台，实现了龙芯特有优化指令支持、龙芯流水线结构优化和其他特性功能，可以充分发挥龙芯处理器的性能潜能。目前，随 Loongnix 系统发布的龙芯 GCC 编译器支持版本为 Gcc-4.9/Gcc-7，LLVM 编译器支持版本为为 LLVM-8.0。

龙芯平台还支持主流的集成开发环境如 Eclipse、QtCreator、VScode 等，支持 EJTAG 在线调试和细粒度性能评估。随 Loongnix 发布的 Eclipse 目前版本为 4.4.1，QtCreator 为 4.3.1 版本（可以支持 Qt5.9.8 及以前各版本的 Qt 开发）。

VScode 是一款免费开源的现代化轻量级代码编辑器，支持几乎所有主流的开发语言的语法高亮、智能代码补全、自定义热键、括号匹配、代码片段、代码对比 Diff、GIT 等特性。随 Loongnix 系统发布的 VScode 为 1.35 版本，用户可以通过 Loongnix 官方软件源 yum 的方式进行安装使用。

## (5) 显卡驱动与图形环境

龙芯中科在图形系统的研发和优化工作包含三个方面内容：

- ①在显卡 GPU 驱动层面，结合系统架构进行优化，以充分释放 GPU 硬件的性能潜力；
- ②在渲染库、解码库等基础图形库层面，结合龙芯 CPU 架构进行算法优化，推动整体系统性能的改善；
- ③在 QT 等上层图形应用环境层面，进行瓶颈模块优化、基础环境完善，同时结合具体性能指标，与应用开发者协同进行适配、定制与优化。

在显卡支持方面，当前基于龙芯 3.10 内核的 Loongnix 系统同时支持龙芯集显、AMD GPU 和 Radeon 的三种 GPU 驱动架构，基本可以实现对目前所有已知 AMD 独立显卡的支持。

龙芯 3.10 内核支持 AMD 显卡型号包括 RX580/590 等消费级显卡、WX5100/7100 等专业级显卡、E6465/E9170/E8860/E9260/E9550 等嵌入式显卡。

## (6) QT 图形环境

QT 是一个跨平台的 C++应用程序框架。龙芯公司设置了专业的 QT 团队，发布有龙芯优化版 QT。龙芯平台 Qt 主要的优化技术包括：向量指令优化、内存填充过程的优化、渲染引擎绘制过程的算法级优化、OpenGL 后端绘制过程的椭圆绘制的优化。经过优化，基于 QT 的 2D 和 3D 应用程序，性能指标有大幅度的提升。龙芯基于 QT 产品优化成果已经应用于 WPS 办公软件、装备显控项目等众多应用。

目前龙芯平台上长期支持的 Qt 版本为 Qt4.8、Qt5.6 和 Qt5.9。Loongnix 系统默认集成 Qt5.9.8 版本。

## (7) Java

龙芯是 Java 国际社区 JCP (Java Community Process) 的正式成员 (Full Member)。早在 2010 年，龙芯公司就组建了专门的 Java 虚拟机研发团队，长期专注于即时编译等核心关键技术的研发，发布了多个产品级的龙芯 OpenJDK 版本，推动龙芯平台上 Java 应用执行效率的持续提升。目前在龙芯平台上主要维护的 Java 虚拟机版本为 OpenJDK 8。该版本通过了 TCK 测试、jctest 测试等大量标准 Java 测试集的完备度验证，在功能上与 x86/Linux 平台上的 Java 执行环境高度兼容，可以在二进制级实现 Java 应用的跨平台无缝迁移。

多年来，龙芯公司积极参与 Java 国际开源社区的相关工作，是 OpenJDK 开源社区的重要贡献力量，拥有近 10 名“OpenJDK Author 级权限”员工，数量居国内第一。龙芯 OpenJDK 团队为社区 OpenJDK 13 解决问题数量，国际前列，国内第一。国外的 Azul 公司等基于龙芯 OpenJDK 源码进行 MIPS32 二次开发，为中国开源软件走向世界产生了积极的国际影响。

龙芯 OpenJDK 产品已在实际生产环境中得到广泛大量应用，支撑起诸多基于 JAVA 的使用场景。如 Web 服务器 Apache Tomcat；开发工具 Eclipse；自动化工具 Jenkins；中间件金蝶，中创，东方通等；办公软件永中 office；各种企业、政务办公 OA 系统；各种开源 Java 系统 Xwiki、JeeCMS、CoreMail 等；开源大数据应用 Hadoop、Hlive、Mesos、Zookeeper、Kafka、Storm 等等。

## (8) 浏览器

龙芯公司积极投入国际浏览器开源社区的研发，是 Chromium、Firefox 浏览器国际开源社区的 MIPS 分支的维护单位。2019 年龙芯公司正式加入 W3C 国际标准化组织，成为 AC 一员，拥有投票权。

Chrome 和 Firefox 两大主流开源浏览器在龙芯平台上均可稳定可靠运行，当前稳定支持版本为 64 位 Chromium60、Firefox52。龙芯平台的浏览器产品具备有完善的 HTML5、WebGL、Flash、JS/JIT、性能剖析工具、视频播放等功能，可应用的领域包括：三维 WebGL/GIS, 2dCanvas 地图标绘、富媒体页面展示、在线视频播放、办公插件、Flash、WebRTC 等领域。

## (9) 媒体编解码

FFMPEG 是 Linux 系统上音视频相关应用的基础支撑库。龙芯公司多媒体团队通过向量汇编、多核并行等技术对 FFMPEG 解码库进行了深入优化，在龙芯 3A3000 平台上，可以实现 H264、mpeg4、VP8、VP9、theora 等主流格式 720P 和 1080P 高清视频的流畅播放。基于 FFMPEG 的 MPlayer、SMplayer、Gnome-mplayer、MPV、VLC 和基于 GStreamer 的 totem 等开源媒体播放器在龙芯系统都有完善支持。

龙芯公司是 FFMPEG 等重要媒体开源项目的成员单位，积极参与 FFmpeg 等音视频项目的社区工作（libvpx、openh264、x264 等），累计向 FFmpeg、libvpx、openh264 开源社区贡献数万行代码，是 FFMPEG 等项目 MIPS 分支的 maintianer。

大量提供音视频应用服务的公司已经开始在龙芯平台上实现在线视频会议系统、视频监控系統以及云视频分发系统的研发。例如某远程视频会议系统供应商基于龙芯 3B3000 已经实现 1 编 4 解 720P 25fps 的效果（即可以满足四人同时在线视频会议，画质达到 720P 25fps）。

龙芯平台上还实现了对 AMD/ATI 系列显卡的硬件解码器的驱动支持，可以通过硬件解码单元实现 H264、MPEG4、VC1 等各类高清媒体格式的播放。

用户可直接通过 Loongnix 官方源 yum 安装使用 FFmpeg 库，最新版本为 2.8.7-7。开发者用户也可以直接在 FFmpeg 开源社区获取源码进行编译安装，最新版本为 4.1.3 版本，针对龙芯平台的适配和优化已经及时合并到上游社区源码库中。

## (10) Docker 容器虚拟化

在容器虚拟化技术方面，基于 Loongnix 及其它国产操作系统，完成了 Docker 容器引擎在龙芯平台的适配和优化，具备虚拟机资源配额设置（cpu 核数、内存大小、网络带宽）、虚拟机和物理机网络端口映射等完备功能；支持 Kubernetes、Docker Swarm 容器管理和容器编排引擎，支持动态节点扩展、负载均衡、宕机切换和容错机制。

目前龙芯平台上支持 Docker-CE-18.06 等最新版本，用户可通过 Loongnix 官方源 yum 安装使用。此外在 docker hub(hub.docker.com)创建了 Loongnix 仓库，在 Loongnix 系统下，只需输入“docker search loongnix”命令，即可查询龙芯在 docker hub 上发布的各种容器镜像。大量合作厂商基于龙芯平台完成了容器虚拟化的产品研发和，相关产品得到了广泛应用。

## (11) KVM 虚拟化

龙芯公司于 2019 年正式发布了 KVM 虚拟机产品解决方案，支持全功能的虚拟化云主机系统，支持以 Spice 协议和 QXL 虚拟图形为基础的云桌面应用，支持 Openstack 等主流云计算环境，支持 Ceph 分布式存储系统。龙芯 KVM 虚拟机产品解决方案包括下面五方面的技术内涵：

在 CPU 芯片方面，龙芯 3B3000 CPU 在处理器执行模式、流水线执行环境、TLB 存储管理、中断与异常机制、虚拟机辅助机制和时钟系统方面实现了对虚拟化的硬件支持，可在多个层次和各类场景下显著提升虚拟化的效率。

在 Linux 内核方面，以 Linux 内核作为基础环境，实现了标准的 KVM 虚拟化模块，完成了对 CPU 虚拟化、存储虚拟化和 IO 虚拟化等的支持。以 Spec CPU2000 为代表的典型应用基本都可以达到 95%以上的虚拟化执行效率。

在 QEMU 虚拟机模拟环境方面，实现了对龙芯 3 号计算机系统架构的标准化模拟，支持虚拟 PCI 总线动态枚举、虚拟 USB 动态扫描，实现了基于 VirtIO 的 IO 虚拟化支持，可以高效支持虚拟网络、虚拟显示等功能。

在云桌面应用环境(VDI)方面，完成了 Spice 协议在龙芯系统上的优化适配，完成了 QXL 虚拟图形的开发适配，实现了 USB 重定向等功能，对 Remote-Viewer、OpenSSL 等虚拟化组件进行了深度优化，具备完备支撑云桌面办公环境的应用能力。

在云计算应用环境方面，完成了 Libvirt、VirtManager 等基础运维管控组件的适配开发，实现了虚拟机动态迁移、动态资源调整，故障自动恢复等功能开发，完成了 Openstack 等大型云计算应用环境的移植和验证，完成了与统一分布式存储系统 Ceph 的验证。

## （12）3D 显控

龙芯显控中间件是一款自主研发二三维一体化的显控中间件，可充分发挥龙芯平台 2D/3D 性能，保障软件流畅运行；集矢量瓦片、并行计算、批处理等关键技术于一身；支持龙芯版嵌入式操作系统，系统启动+中间件启动时间小于 20 秒。

中间件分为屏幕 2D 坐标系显示模式和 3D 坐标系两种显示模式。支持海量高清卫星影像数据，数字高程数据、矢量图层数据、第三方格式模型数据以及图片等一系列数据；支持调用系统提供的系统工具功能以及自由扩展工具，并能够和场景交互操作；支持场景元素的管理。显控中间件应用场景可包含的对象有卫星、飞机、船、车辆、运载、地面站、行星、恒星、目标、区域目标以及遥感器、接收机、转发器、雷达等。

## （13）数学库

龙芯公司研发了优化版的数学软件库产品。通过运用龙芯架构独有的向量指令及流式 DMA 运算特性支持，能够数倍甚至数量级倍提升三角函数、矩阵运算、FFT 等的性能表现。龙芯数学软件库精度符合 IEEE-754 标准，提供 O32、N32、N64 三种 ABI 版本，并且数学库接口与 Glibc 保持一致。

## （14）性能分析工具

龙芯平台上支持 Oprofile、Perf 等 Linux 平台常用的性能分析工具。通过与龙芯处理器架构进行适配，这些工具可以在微结构级细粒度地分析系统和应用性能，可以统计的信息包括：cache 的缺失率、memory 的访存信息、分支预测错误率、系统调用次数、上下文切换次数、任务迁移次数、缺页例外次数等。上述两款性能剖析工具集成在龙芯各类操作系统发行版中，用户也可以通过龙芯软件生态建设官网 (<http://www.loongnix.org>) 下载并了解其使用方法。

## （15）国产基础软件支持

在龙芯平台上支持的国产数据库：包括武汉达梦、人大金仓、神舟通用、南大通用、汉高、优炫等数据库；此外，龙芯平台上还支持开源 MySQL/Mariadb、mongoDB 等主要的开源数据库。

在中间件方面：龙芯平台可完善支持山东中创、东方通、金蝶天燕应用服务器、金蝶天燕消息中间件等国产中间件产品；WebLogic 等开源中间件产品也在龙芯上完成了适配和应用推广。

在办公软件方面：国产 WPS Office for Linux 专业版、中标普华 Office、永中 Office 以及开源的 OpenOffice 都已经完成在龙芯平台上的移植。龙芯公司紧密配合金山等 Office 厂商进行性能优化，显著提升了办公软件在龙芯系统上的用户体验。

应用软件：腾讯 Q Q、政务微信、阿里丁丁、360 浏览器、腾讯浏览器、美图秀秀、中望 CAD、用友财政、金碟云苍穹、360 杀毒、coremail 安全邮件系统正在往龙芯平台迁移或者已经完成适配。

### **(16) 第三方外设支持**

在龙芯平台上，目前已完成大量的第三方外设适配，支持奔图、天津光电、HP、联想、佳能、理光、富士等打印机，支持映美针式打印机，支持哲林、紫光和方正等高拍仪，支持紫光、方正和奔图等扫描仪/扫描枪，支持绘王、汉王手写板/手绘板，支持飞天诚信等安全 KEY，支持诚章、中控、圣点等指纹仪等外设。这些外设已经在各项目中得到了广泛的产品应用。上述外设已经在各项目中得到了广泛的产品应用。

具体适配厂商列表，请访问：

“<http://www.loongnix.org/index.php/Loongnix> 外设适配列表”。

## **5.2 嵌入式实时操作系统**

在对国产自主可控的嵌入式操作系统支持方面，龙芯公司支持并积极配合国内自主嵌入式操作系统研制单位做好龙芯 CPU 与自主嵌入式操作系统的适配优化工作。目前龙芯平台支持的国产嵌入式操作系统包括锐华操作系统、道系统、JARI-Works 操作系统、天熠操作系统、翼辉嵌入式实时操作系统、中兴嵌入式操作系统、神舟嵌入式操作系统、天脉操作系统等，支持 QT 等 GUI 开发环境。基于龙芯平台的上述嵌入式系统已在工控、装备等领域得到广泛应用。

### **(17) 板级支持包 (BSP)**

针对龙芯 3A3000/1500+7A1000、龙芯 2K1000、龙芯 1A、龙芯 1E+1F、龙芯 2H、龙芯 2J/2I+5536、龙芯 2J/2I+1A、3A3A1000/1500/3000+780 和龙芯 3A1000/1500/3000+2H 等硬件平台，龙芯公司向用户提供 vxWorks 6.8 为主的 BSP 开发包及相关设计服务，同时也可提供 vxWorks6.7 和 vxWorks5.5 的设计服务。

## (18) 嵌入式二维图形解决方案

vxWorks 解决方案：针对龙芯 3A3000/1500+7A1000、龙芯 2K1000、龙芯 2H、2J/2I+5536、2J/2I+1A、3A1000/1500/3000+780 和 3A1000/1500/3000+2H 等硬件平台, 提供 PMON、以 vxWorks6.8 为主的 BSP 开发包、Qt4.8.7 龙芯优化版、WindML 图形库以及二维显卡驱动模块等软硬件系统解决方案, 支持 AMD HD3000、HD4690、E8860、E6465、龙芯 7A 集成显卡等显卡设备, 可应用于各类嵌入式二维图形系统, 如图 5.1 所示。

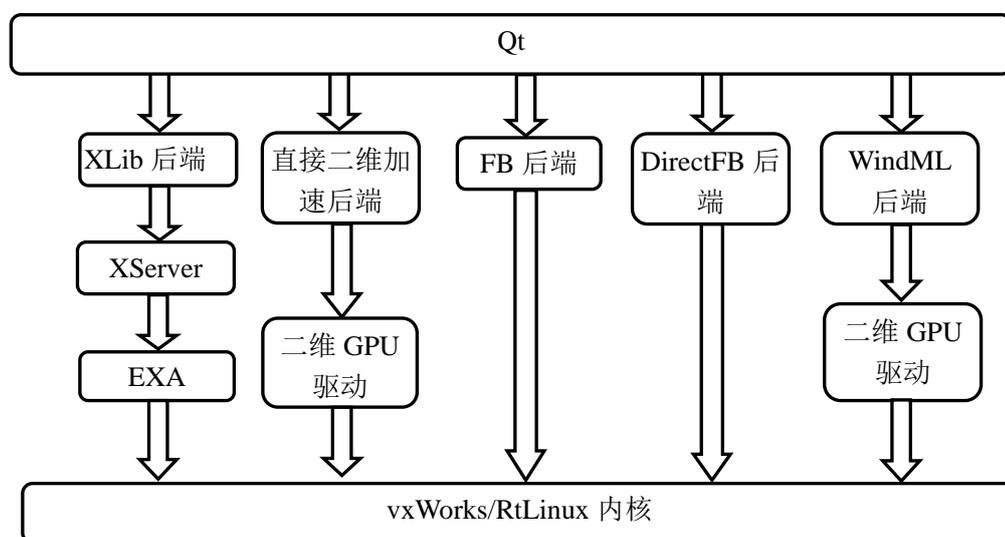


图 5.1 嵌入式二维图形架构示意图

上图中所示“Xlib 后端”是传统 Linux 下的图形架构, 存在系统架构复杂、软件栈层次过多, 影响系统启动速度及文件系统精简性; “直接二维加速后端”是龙芯公司针对嵌入式平台特点新增加的二维图形加速后端, 采用 Qt+直接硬件加速接口的架构, 使得 Qt 可直接使用显卡硬件加速接口, 从而精简掉复杂的 XServer 图形架构, 同时还可获得显卡硬件加速特性; “FB 后端”即为纯软件的图形绘制系统后端, 没有显卡硬件加速支持; “DirectFB 后端”是传统的以 DirectFB 图形库为核心的图形架构, 存在着与 XServer 类似的架构复杂等弊端; “windML 后端”是传统 vxWorks 下的图形架构, 存在 windML 系统架构复杂、功能冗余、显卡支持不好等问题。

## (19) 嵌入式三维图形解决方案

vxWorks 解决方案：针对龙芯 3A3000/1500+7A1000、龙芯 2K1000、龙芯 3A1000/1500/3000+780 和 3A1000/1500/3000+2H 等硬件平台, 提供以 vxWorks6.8 为主的 BSP 开发包、Qt4.8.7 龙芯优化版、三维显卡驱动模块、openGL/ES 2.0 3D API、3D 绘制引擎等软硬件系统解决方案, 支持 AMD HD3000、HD4690、E8860、E6465 等显卡设备, 可应用于各类嵌入式三维图形系统, 如图 5.2 所示。

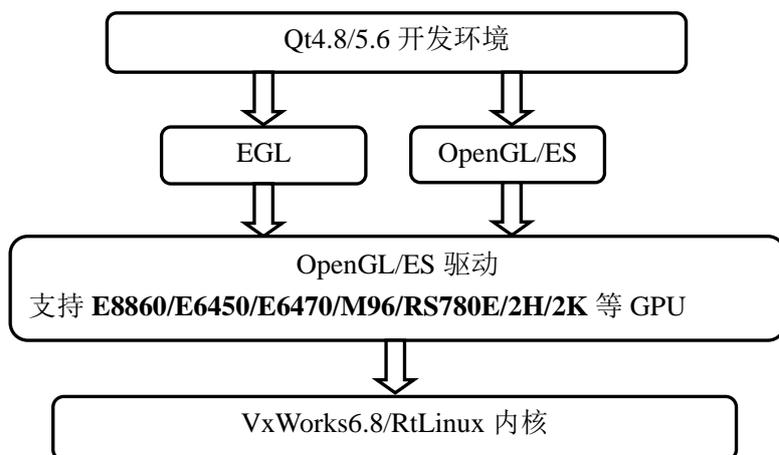


图 5.2 嵌入式三维图形架构示意图

上图中所示“EGL 后端”是 Qt 所使用的三维图形架构, 用户可直接使用由 Qt 库提供三维图形 API 封装模块, 实现三维图形应用开发; 同时, 用户也可在 Qt 中直接使用 openGL/ES API 进行三维图形应用开发。针对 vxWorks 平台, 龙芯公司基于 AMD RS780E、HD4690、E8860 和 E6465 等显卡适配了相应的 3 维硬件驱动, 保持对 Qt 用户的透明, 方便用户实现跨 RtLinux 和 vxWorks 的 3 维图形应用程序开发。

## 5.3 嵌入式精简操作系统 LoongOS

LoongOS 是龙芯移植并优化的面向嵌入式应用的精简操作系统, 主要应用于实时控制、数据采集系统、科学仪器测控, 及实时性敏感的仪器和装备。其主要特点如下:

- 通过内核、系统服务、图形应用、开机启动等方面的裁剪优化。
- 针对客户对操作系统极大瘦身, 操作系统裁减由原 5GB 到最小 20MB 以内;

- 系统开机启动时间由原来通用操作系统的 90 秒，缩短到 25 秒以内；
- 基于 Qt 的图形系统，实现了不基于 Xserver 的二、三维加速，使得系统图形架构更为精简；
- 实现与原 Windows 系统统一的 XML 图形界面配置管理文件，原 Windows 系统上的图形界面可直接在龙芯平台运行而不需要重新编译；
- 系统实时性显著提升，最短延迟达到 2 微秒量级，最长延迟时间 100 微秒量级。
- 确定的实时性：支持实时中断处理，实时周期任务调度，使得中断响应时间和调度抖动窗口接近硬件极限。最坏情况下的中断延时少于 15 毫秒。
- 标准的 API：使用 POSIX 线程 API，遵循 POSIX 10003.13 PSE31 规范。
- 兼容性：一套源代码兼容多种板卡、一个系列板卡做到二进制兼容。
- 支持丰富的工具集：GDB 源码级调试工具，GNU 编译器、Perl 等
- 可靠性：精选测试用例，经过 72 小时压力测试，保证系统稳定、可靠。

LoongOS 2D 解决方案：针对龙芯 3A3000/1500+7A1000、龙芯 2K1000、龙芯 2H、2J/2I+1A、3A1000/1500/3000+780 和 3A1000/1500/3000+2H 等硬件平台，提供 PMON、以 3.10 内核为主的 Linux 内核支持包、精简文件系统、Qt4.8.6 或 5.6 龙芯优化版、直接硬件二维显卡驱动等软硬件系统解决方案，可应用于各类嵌入式二维图形系统。

LoongOS 3D 解决方案：针对龙芯 3A3000/1500+7A1000、龙芯 2K1000、龙芯 3A1000/1500/3000+780 和 3A1000/1500/3000+2H 等硬件平台，提供以 3.10 内核为主的 Linux 内核支持包、精简文件系统、Qt4.8.6 或 5.6 龙芯优化版、三维显卡驱动模块、OpenGL/ES 2.0 3D API、3D 绘制引擎等软硬件系统解决方案，可应用于各类嵌入式三维图形系统。

716 所的杰瑞操作系统，跟 loongOS 采用类似的技术路线，同样支持上述功能。

## 六、龙芯 CPU 发展规划

### 6.1 龙芯 CPU 指令系统

龙芯公司得到 MIPS 架构的永久使用授权，该架构授权允许龙芯公司通过 MIPS 指令系统的 UDI (User Defined Interface) 对指令系统进行扩充。

在 Imagination 收购 MIPS 公司后，指令系统的扩展不再保持向前兼容，如取消 64 位的 DSP 指令以及在 Release6 中取消一些与 Branch Likely 相关的转移指令。基于稳定生态的需要，龙芯不能跟随 Imagination 的路线，决心继续维护向前兼容。因此，龙芯 CPU 将在 MIPS 公司 2013 年发布的 MIPS32/MIPS64 Release3 的基础上进行自主扩展，并形成“MIPS 兼容的龙芯指令系统 LoongISA”。LoongISA 在 MIPS32/MIPS64 Release3 的基础上形成以下主要可选扩展：

(1) 一般扩展 LoongEXT：主要包括 128 位的访存指令，64 位的向量指令，以通用寄存器为目标寄存器的定点乘除法指令（MIPS 的定点乘除法以 Hi 和 Lo 两个特殊寄存器作为目标寄存器），支持内容相联查找的 CAM 指令等。

(2) 虚拟机扩展 LoongVM：支持虚拟机的扩展，主要是系统态扩展。LoongVM 支持半虚拟化。

(3) 向量指令扩展 LoongSIMD：分为 128 位扩展 LoongSIMD128 及 256 位扩展 LoongSIMD256，其中 LoongSIMD256 必须包含 LoongSIMD128。

(4) 二进制翻译扩展 LoongBT：增加 MIPS 中不具备但 X86 和 ARM 具备的核心功能，使得从 X86 和 ARM 的二进制到龙芯 CPU 的二进制翻译更加方便。

### 6.2 龙芯 CPU 核

经过多年积累，龙芯 CPU 形成了 GS132、GS232 和 GS464 三大系列处理器核。

GS132 为单发射 32 位结构，采用静态流水线。其 1.0 版本（简称为 GS132）为三级静态流水结构，在龙芯 1D、1F 中使用。其 2.0 版本（简称为 GS132E）为五级静态流水结构。

GS232 为双发射 32/64 位结构，采用动态流水线。其 1.0 版本（简称为 GS232）为五级动态流水线结构，只有 32 位版本，在龙芯 1A、1B、1C、1E 中使用。其 2.0 版本（简称为 GS232E）为动态流水线结构，有 32 位和 64 位版本（64 位版本也称为 GS264），在龙芯 2K1000 中使用。

GS464 为四发射 64 位结构，采用动态流水线。其 1.0 版本（简称 GS464）为 9 级流水线结构，在龙芯 3A、3B、2J、2H 中使用。其 2.0 版本（简称 GS464E）为 12 级动态流水线结构，在龙芯 2J1500、龙芯 3A1500、龙芯 3A2000、龙芯 3B2000、龙芯 3A3000、龙芯 3B3000 等 CPU 中使用。其 3.0 版本（简称 GS464V）为 12 级动态流水结构，含 256 位向量部件，在龙芯 3A4000、龙芯 3A5000、龙芯 3C5000 等 CPU 中使用。

龙芯 GS132 及 GS232 系列 CPU 核可以用于对外 SOC 设计服务，GS464 系列 CPU 核限于公司自用。

### 6.3 龙芯 CPU 芯片

经过多年的积累，龙芯 CPU 产品形成了面向电脑类应用的龙芯 3 号系列，面向工控和终端类应用的龙芯 2 号系列以及面向专门应用的龙芯 1 号系列等三大系列。

龙芯 CPU 的 3 号系列和 2 号系列分别定位于 Intel 的 Core 系列和 Atom 系列。对于同一工艺结点，CPU 芯片的工作电压可以有较大的浮动，导致功耗有几倍差距，因此同一工艺的 CPU 功耗差异非常大。为此，不同的 CPU 厂商都需要有不同的 CPU 结构来满足不同的应用需求。龙芯 3 号系列偏向于高性能设计，采用四发射 64 位处理器核（GS464 系列），核数 4-16 核；龙芯 2 号系列偏向于低功耗设计，采用双发射处理器核（GS232 系列），核数 1-2 核，未来主要采用双发射处理器核为主。

龙芯 3 号系列 CPU 需要配套的桥片形成计算机系统。龙芯 3 号系列采用两片方案是需要的，以便于 CPU 专注于提高性能，而且有利于多片 CPU 互连形成多路系统，同时保持接口的灵活性。龙芯 2 号系列 CPU 将采取单片 SOC 的技术路线，即不用桥片配合，单个芯片即可形成系统。

龙芯 3 号系列目前有龙芯 3A1000、3A1500、3A2000/3B2000、3A3000/3B3000、3A4000/3B4000 等产品。其中 3A1000 及 3B1500 采用 GS464 处理器核，3A2000、3A3000 采用 GS464E 处理器核，通用处理性能是 3A1000 的 2-5 倍。龙芯 3B2000/3B3000 也是四核结构，与 3A2000/3A3000 唯一的不同是支持多路直连，用于服务器。面向宽温应用的 3A1500 是 3A2000 的陶封版，已于 2018 年完成产品化。

龙芯 2 号系列目前有龙芯 2F1000、龙芯 2J1000、龙芯 2H1000 三款产品，均采用 GS464 处理器单核。采用 GS464E 处理器核及 40nm LL 工艺的与龙芯 2J1000 引脚兼容的龙芯 2J1500 已流片成功，已于 2018 年形成产品。采用双 GS232E 处理器核的龙芯 2K1000 于 2018 年形成产品。

龙芯 1 号系列目前有龙芯 1A0300、龙芯 1B0300、龙芯 1C0300、龙芯 1D0100、龙芯 1E0100、龙芯 1F0100、龙芯 1H0100 七款产品。未来，龙芯 1 号系列主要面向专门应用定制，如龙芯 1D0100 面向流量表应用，龙芯 1E0100 及龙芯 1F0100 面向宇航级应用，龙芯 1H0100 面向石油勘探应用。龙芯 1E 的升级版龙芯 1E0300 芯片 2018 年提供样片，2019 年形成产品。

## 6.4 龙芯 CPU 桥片

龙芯 CPU 桥片分为嵌入式桥片、PC 桥片和服务器桥片。

嵌入式桥片与嵌入式 CPU 形成两片系统解决方案。目前，龙芯 1A 是龙芯 2F 及龙芯 2J 的 PCI 接口桥片，龙芯 1F 是龙芯 1E 的 PCI 接口桥片。同时龙芯 1A 内嵌 GS232 处理器核，龙芯 1F 内嵌 GS132 处理器核。未来，龙芯 2 号系列和龙芯 1 号系列都将设计成单片 SOC 结构，一般不再需要专门的桥片。

龙芯 PC 桥片与龙芯 3 号系列 CPU 形成两片系统解决方案。在 Intel 和 AMD 的两片方案中，CPU 和 GPU 集成在一个芯片中共享内存并通过 PCIE 总线与南桥相连，南桥主要提供 IO 接口。在未来相当长的一段时间内，龙芯的两片方案中 CPU 与内存控制器集成在一起，GPU 跟桥片集成在一起，并通过 HT 总线相连。把 GPU 和桥片集成在一起并在桥片上集成独立显存也有利于 GPU 性能的发挥。此外，由于桥片中集成的 GPU 性能不会很高，而且桥片升级速度不够快，因此龙芯的桥片还应集成适量的 PCIE 接口，用于外接高性能显卡。

龙芯桥片正式命名为龙芯7号系列（“7”与“桥”谐音）。已研制的成功的龙芯7A1000桥片内部集成32路PCIE，多路USB、GMAC、SATA，两路DVI显示接口，内置GPU等。其中，GPU的2D性能及显存带宽将比龙芯2H将明显提高。龙芯7A1000已于2018年推出，是比较成熟的货架产品。

以后的龙芯桥片将支持CC-NUMA结构，如通过HT接口连接四个龙芯3号多核芯片。多个上述四路系统可以通过PCIE接口连接成至少64路的CC-NUMA系统，龙芯服务器桥片将支持CC-NUMA Cache一致性协议。

## 6.5 通用CPU近期研发计划

总体上说，龙芯CPU产品的发展秉承使用一代、研制一代、预研一代、前瞻一代的思路，每一代都是龙芯3号多核CPU及龙芯2号SoC两条主线。

**第一代产品：**龙芯的第一代产品主要是把中科院计算所的科研成果进行产品化，包括龙芯3A、2F、3B、2H等CPU。

目前在普遍使用的龙芯3A和龙芯2F已经非常成熟，其中龙芯2F于2008年研制成功，龙芯3A于2010年研制成功。后来研制的龙芯2J是龙芯2F的衍生产品。

龙芯3B和龙芯2H于2012年底研制成功，2014年完成产品化，开发系统及服务体系也已完善，不少客户已经基于龙芯3B和龙芯2H研制了整机产品。龙芯1A及1B是龙芯2H的衍生产品，属于低端SOC，于2011年研制成功，2012年完成产品化。

**第二代产品：**龙芯的第二代产品将在大幅度提升处理器核性能的基础上进行，新研制的四发射64位处理器核GS464E和双发射32位处理器核GS232E性能将达到世界先进水平。在此基础上，分别使用40nm工艺和28nm工艺研制龙芯3A2000/3B2000和龙芯3A3000/3B3000四核CPU，使用40nm工艺研制2J1500和2K1000 SoC。

龙芯3A2000/3B2000与龙芯3A引脚兼容，主频800MHz-1GHz，相同主频下通用处理性能（以SPEC CPU2006为测试标准）是龙芯3A的3-5倍。龙芯3A3000/3B3000在龙芯3A2000/3B2000的基础上，使用28nm SOI工艺提高主频，达到1.5GHz，通用处理性能超过ARM和威盛的高端处理器，2017年推出产品。

龙芯 2J1500 与龙芯 2J 引脚兼容,用 GS464E 处理器核大幅度提高性能,主频 800MHz。龙芯 2K1000 SoC 使用 40nm 低功耗工艺设计,片内集成 2 个 GS232E 处理器核,主频 1GHz,通用处理性能是龙芯 2H 的 3-5 倍,2018 年推出产品。

**第三代产品:** 在龙芯 3 号多核 CPU 方面,已于 2019 年推出基于 28nm 工艺的四核 3A4000/3B4000。3A4000、3B4000 的处理器核将在 GS464E 的基础上增加 256 位的向量部件,主频 2GHz,通用处理性能是 3A3000/ 3B3000 的两倍,SPEC CPU2006 定点和浮点分值均达到 20 分以上。在此基础上,将基于 12nm 工艺研制 4 核龙芯 3A5000 和 16 核龙芯 3C5000,主频 2.5~3.0GHz。

在龙芯 2 号 SoC 方面,将根据需要使用 28nm 工艺对 2K1000 进行升级,推出主频为 2GHz 的龙芯 2K2000。

**第四代产品:** 在第三代产品的基础上进一步提高性能,降低功耗。

附表一是近期龙芯 CPU 发展计划。

## 6.6 抗辐照 CPU 近期研发计划

到 2020 年前,龙芯抗辐照 CPU 主要发展两个系列,一是基于 0.18um 体硅进行抗辐照加固设计的低端系列,二是基于 0.13um SOI 工艺进行加固设计的高端系列。

低端系列包括龙芯 1E0100 和龙芯 1F0100 两款产品。其中龙芯 1E0100 集成了 GS232 处理器核,是一款通用的抗辐照 CPU,主频 66MHz;龙芯 1F0100 主要特点是集成了比较丰富的航天专用接口,可以用一片取代目前若干 FPGA 实现的功能,龙芯 1F 还集成了 GS132 处理器核,主频 33MHz。在对性能要求较低场合,龙芯 1F 可以单独作为 SOC 使用,在对性能要求较高的场合,龙芯 1E 和龙芯 1F 可以通过 PCI 总线配合使用。目前龙芯 1E0100 和龙芯 1F0100 已经研制成功,2014 年完成鉴定检验。初步测试结果表明,实测抗辐照能力远大于项目立项时的目标值。如总剂量目标值为 100Krad (si),实测 > 500Krad (si);单粒子锁定目标值为 > 75MeV\*cm<sup>2</sup>/mg,实测 > 99.8MeV\*cm<sup>2</sup>/mg;IGSO 轨道翻转率目标值为 < 10<sup>-10</sup>次/位天,实测 < 10<sup>-13</sup>次/位天。

高端系列使用 0.13um SOI 工艺对龙芯 1E0100 和龙芯 1F0100 升级形成龙芯 1E0300

和龙芯 1F0300。在功能上，龙芯 1E0300 将比龙芯 1E0100 增加一个 Spacewire 接口，其余不变。在性能上，龙芯 1E0300 主频提高到 200MHz 以上，运算能力达到 400MIPS。龙芯 1F0300 的处理器核主频也有相应提高。在抗辐照能力上，使用 SOI 工艺比使用体硅加固也有所提高。龙芯 1E0300 于 2018 年推出，龙芯 1F0300 于 2020 年推出。

此外，还将研制抗辐照 MCU 龙芯 1J，该芯片采用 130nm Flash 工艺，具有低功耗、高可靠、高集成度的优点，于 2018 年推出。

附表二给出了龙芯抗辐照/抗核 CPU 的发展计划。

## 6.7 龙芯 CPU 质量等级

根据应用环境、研制过程及服务体系的不同，龙芯 CPU 的质量等级分为商业级、专用工业级、高质量等级和宇航级四个等级。

商业级 CPU 执行国标 GB/T 12750-2006 标准，采用塑料封装，环境温度范围 0~70℃。按照集成电路的一般生产流程在芯片测试台上采用测试向量对 CPU 进行成测。

专用工业级 CPU 执行国标 GB/T 12750-2006 标准，采用塑料封装，环境温度范围-40~85℃。设计时按照工业级温度范围进行，成测时对漏电功耗的测试加严，并增加筛选项目，包括 168 小时的高温老炼（必要时），并对每颗单独编号便于追溯。专用工业级 CPU 要定期进行一致性检验，用于特种行业市场。

高质量等级 CPU 执行国军标 GJB597B-2012 标准，采用陶瓷封装，环境温度范围-55~125℃。设计时按照高质量等级温度范围进行，成测时对漏电功耗的测试加严。成测后按照高质量等级标准进行逐颗筛选，并每颗单独编号便于追溯。高质量等级 CPU 要按国军标要求进行一致性检验。

宇航级 CPU 执行军标 Q/QJA 20084-2012 标准，采用陶瓷封装，环境温度范围-55~125℃。设计时按照宇航级要求进行，成测时对漏电功耗的测试加严。成测后按照宇航级标准进行逐颗筛选，并每颗单独编号便于追

溯。宇航级 CPU 要按宇航级产品要求进行一致性检验。宇航级 CPU 还要进行辐照实验。

在出现芯片应用过程中的质量问题时，专用工业级芯片执行技术归零，高质量等级和宇航级芯片执行技术归零和管理归零的双归零，其余等级芯片龙芯公司不负责归零。

上述不同质量等级 CPU 的具体要求参照附表二。

附表一：龙芯通用 CPU 路线图

	名称	时间	工艺	主频	常温 功耗	结构特点
第一代产品	2F	2008	90nm	800MHz	<4W	64位四发射结构，MIPS III 指令系统 L1: 64KB+64KB L2: 512KB 内存接口: 64位 DDR2 IO 接口: PCI、Local IO 封装: 27mm*27mm BGA 封装, 452 个引脚
	3A	2010	65nm	800MHz	<15W	四个 GS464 (注 3) 处理器核 每核 L1: 64KB+64KB 共享 L2: 4MB 内存接口: 两个 64 位 DDR2/3 高速 IO 接口: 两个 16 位 HT1.0 低速 IO 接口: PCI、LPC、SPI、UART 封装: 40mm*40mm BGA 封装, 1121 引脚
	2J	2013	65nm	800MHz	<8W	一个 GS464 处理器核 L1: 64KB+64KB L2: 1MB 内存接口: 64 位 DDR2/3 IO 接口: GMAC*2、PCI、LPC、PS2、UART 封装: 31mm*31mm CBGA, 500 引脚
	2H	2013	65nm	800MHz	<6W	一个 GS464 处理器核 L1: 64KB+64KB L2: 512KB 集成 2D/3D GPU、媒体解码、HDA、AC97 内存接口: 64 位 DDR2/3 显示接口: VGA、LCD 高速 IO 接口: HT1.0, PCIE 2.0 低速 IO 接口: SATA*2、USB2.0*6、GMAC*2、LPC、SPI、UART、NAND、I2C 等 封装: 31mm*31mm BGA, 741 引脚
	3B1500	2013	28nm	1.2GHz	<30W	八个 GS464 处理器核 私有 L1: 64KB+64KB 私有 L2: 128KB (exclusive) 共享 L3: 8MB 内存接口: 两个 64 位 DDR2/3 高速 IO 接口: 两个 16 位 HT2.0 低速 IO 接口: PCI、LPC、SPI、UART 封装: 40mm*40mm BGA 封装, 1121 引脚
	3A2000/ 3B2000	2015	40nm	0.8GHz- 1.0GHz	<20W	支持龙芯指令系统 LoongISA (注 1) 集成四个 GS464E (注 4) 处理器核

第二代产品						私有 L1: 64KB+64KB 私有 L2: 256KB (exclusive) 共享 L3: 4MB 内存接口: 两个 64 位 DDR2/3 高速 IO 接口: 两个 16 位 HT3.0 低速 IO 接口: PCI、LPC、SPI、UART 等 封装: 陶封和塑封, 与 3A 引脚兼容
	3A3000/ 3B3000	2017	28nm	1.5GHz	<30W	与 3A2000/3B2000 引脚兼容, 软件兼容, 通过先进工艺提高主频。此外, 片内 LLC 从 4MB 增加到 8MB, 定点发射队列从 16 项增加到 32 项, 浮点发射队列从 24 项增加到 32 项
	2J1500	2015	40nm	800MHz	<5W	与 2J 引脚兼容, 使用 GS464E 处理器核
	2K1000	2017	40nm	1.0GHz	<5W	支持 LoongISA 以及 LoongSIMD (注 2) 集成 2 个 GS232E (注 7) 处理器核 面向终端及网安应用
	7A1000	2017	40nm	-		HT 接口桥片, 有 32 路 PCIE 接口, SATA2.0*3, USB2.0*6, GMAC*2, 内置 GPU, 双 DVI 显示等
第三代产品	3A4000	2019	28nm	2.0GHz		集成四个 GS464V (注 5) 处理器核, 两个 64 位 DDR3/4 内存控制器
	3A5000	2020	12nm	2.5~3.0 GHz		集成四个 GS464V (注 5) 处理器核, 两个 64 位 DDR3/4 内存控制器
	3C5000	2021	12nm	2.5GHz	未定	集成 16 个 GS464V 处理器核 三个 128 位 DDR3/4 内存控制器
	2K2000	2021	28nm	2.0GHz	未定	集成 2-4 个 GS232E 处理器核 面向终端及工控应用
	7A2000	2021	28nm	-		有关接口 (PCIE、SATA) 升级到 3.0, 增强 GPU 性能, 支持 CC-NUMA 多路服务器
<b>注:</b>						
<ol style="list-style-type: none"> <li><b>LoongISA:</b> 龙芯指令系统, 在 MIPS32/MIPS64 指令系统基础上进行扩展, 增加了对 X86 和 ARM 二进制翻译的支持, 增加了虚拟机指令等。</li> <li><b>LoongSIMD:</b> 龙芯指令系统的向量指令扩展, 含 128 位以及 256 位向量指令。</li> <li><b>GS464:</b> 四发射 64 位处理器核, 支持 MIPS64 指令系统, 相同主频下性能与 Pentium III 相当, 或略高于 Pentium III。</li> <li><b>GS464E:</b> 四发射 64 位处理器核, 支持 LoongISA 指令系统, 对 GS464 的微结构进行大幅升级, 相同主频下性能达到 2013 年主流 CPU 的水平, 是 GS464 的 3 倍以上。</li> <li><b>GS464V:</b> 四发射 64 位处理器核, 支持 LoongISA 指令系统, 实现 256 位向量指令, 在 GS464E 基础上进行微结构升级, 大幅提高性能。</li> <li><b>GS232:</b> 双发射 32 位处理器核, 支持 MIPS32 指令系统, 相同主频下性能是 ARM9 的两倍左右。</li> <li><b>GS232E:</b> 双发射 32 位处理器核 (其 64 位版本称为 GS264), 性能与 ARM A12 相当。</li> </ol>						

附表二：龙芯 CPU 质量等级

质量等级	商业级	专用工业级	高质量等级	宇航级
参照规范	GB/T 12750-2006	GB/T 12750-2006	GJB 597A-1996	Q/QJA 20084-2012
封装	塑封	塑封	陶封	陶封
温度范围	0~70℃	-40~85℃	-55~125℃	-55~125℃
筛选	无	编序列号 常温电测试筛选 <sup>1</sup> 稳定性烘培 温度快速变化 老炼前电测试 168 小时高温老炼（必要时） 三温电测试筛选 目检	封盖前内部目检 编序列号 常温电测试筛选 <sup>1</sup> 稳定性烘培 温度循环 恒定加速度 目检 粒子碰撞噪声检测 老炼前电测试 168 小时高温老炼 老炼后电测试 PDA 计算 三温电测试筛选 密封 细检漏 粗检漏 目检	晶圆批验收（可选） 非破坏键合拉力 封盖前内部目检 编序列号 常温电测试筛选 <sup>1</sup> 稳定性烘培 温度循环 恒定加速度 目检 粒子碰撞噪声检测 老炼前电测试 168 小时高温老炼 老炼后电测试 PDA 计算 反偏老炼、PDA 计算 三温电测试筛选 密封 细检漏 粗检漏 X 射线照相 目检

质量等级	商业级	专用工业级	高质量等级	宇航级
鉴定检验方	龙芯中科	龙芯中科	第三方鉴定机构	第三方鉴定机构
鉴定检验	国标规定的 A组, B组, C组	国标规定的 (条件加严) A组, B组, C组	军标规定的 A组, B组, C组, D组	军标规定的 A组, B组, C组, D组, E组
抗辐照实验	-	-	-	按规范进行
一致性检验	-	A、B组 1个月 C组 3个月	A、B组每批次 C组 3个月 D组 6个月	A、B组每批次 C组 3个月 D组 6个月 E组每批次
追溯性	批次追溯	每颗追溯	每颗追溯	每颗追溯
出厂专检	-	龙芯中科	第三方/用户方	第三方/用户方
检验报告	-	独立数据包	筛选报告(含测试数据) 本批次质量一致性报告 DPA报告	筛选报告(含测试数据) 本批次质量一致性报告 DPA报告
质量问题	解决问题	技术归零	双归零	双归零

# 版权声明

龙芯中科技术有限公司版权所有。

**LOONGSON**、LOONGNIX 是龙芯中科技术有限公司的注册商标。本文中所涉及的其他商标或产品名称均为各自拥有者的商标或产品名称。

本文中的信息若有更改，恕不另行通知。虽然已尽力确保本文的完整性和准确性，但龙芯中科技术有限公司对本文的内容不作任何保证。龙芯中科技术有限公司对本文中包含的错误或遗漏，或者因使用本文引发的任何损失概不负责。

未经龙芯中科技术有限公司许可，任何个人和组织均不得以任何手段与形式对本文进行复制或传播。

龙芯中科技术有限公司

## 附 龙芯中科技术有限公司在地图上的位置





龙芯中科技术有限公司

安全应用事业部

地址：北京市海淀区温泉镇中关村环保科技示范园龙芯产业园 2 号楼

邮编：100095

公司传真：010-62600826

联系电话：010-62546668 转 1801

联系邮箱：[humingchang@loongson.cn](mailto:humingchang@loongson.cn)

公司网址：<http://www.loongson.cn>

龙芯社区：<http://www.loongnix.org>

下载网址：<http://ftp.loongnix.org/>