本文引用格式:罗荣,胡文庆.人工智能服务器的底板管理控制器系统设计[J].自动化与信息工程,2022,43(6):34-40.

LUO Rong, HU Wenqing. Design of baseboard management controller system for artificial intelligence server[J]. Automation & Information Engineering, 2022,43(6):34-40.

人工智能服务器的底板管理控制器系统设计*

罗荣 胡文庆

(广东人工智能与先进计算研究院,广东 广州 510506)

摘要:针对人工智能计算单元或加速卡需要稳定可靠的工作电源以及实时高效的温度控制等需求,设计人 工智能服务器的底板管理控制器系统,实现人工智能服务器的电源模块冗余管理、多路电源输出监测、机箱内部 温度控制,并提供远程接口和设备管理能力。该系统采用 ORing 冗余电源设计,对每路输出电源进行电压、电流 状态监测;结合人工智能服务器的内部温度信息,依据电压、电流历史趋势对其散热风扇实施转速控制,不仅实 现了电源冷、热冗余备份和切换管理,还有效提高了服务器的散热水平。应用该系统的人工智能服务器"香雪-3B" (XIANGXUE-3B)运行稳定可靠,并在 MLPerf V2.0 测试中取得了较好的成绩。

关键词:人工智能服务器;底板管理控制器;冗余管理;散热管理

中图分类号: TP277 文献标识码: A 文章编号: 1674-2605(2022)06-0006-07 DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2022.06.006

Design of Baseboard Management Controller System for Artificial Intelligence Server

LUO Rong HU Wenqing

(Guangdong Institute of Artificial Intelligence and Advanced Computing, Guangzhou 510506, China)

Abstract: To meet the requirements of stable and reliable working power supply and real-time and efficient temperature control for the artificial intelligence computing unit or accelerator card, the floor management controller system of the artificial intelligence server is designed to realize the redundant management of the power module of the artificial intelligence server, multi-channel power output monitoring, and temperature control inside the chassis, and provide remote interface and equipment management capabilities. ORing redundant power supply design is adopted to monitor the voltage and current status of each output power supply; Combined with the internal temperature information of the AI server, the speed of the cooling fan is controlled according to the historical trend of voltage and current, which not only realizes the cold and hot redundancy backup and switch management of the power supply, but also effectively improves the cooling level of the server. The artificial intelligence server "XIANGXUE-3B" using this system runs stably and reliably, and has achieved good results in MLPerf V2.0 test.

Keywords: artificial intelligence server; baseboard management controller; redundancy management; heat dissipation management

引言

人工智能(artificial intelligence, AI)服务器是针 对具有高并行、高精度、高速率等计算需求的浮点运 算、数值计算和科学计算设计的高性能计算平台,是 人工智能、大数据、数字孪生、智慧城市等领域的重 要基础设施。AI 服务器搭载大量的计算单元和高带 宽、高容量的内存资源,可满足人工智能的模型训练、 线上推理计算、科学仿真计算等应用需求。

MG

随着 AI 服务器计算强度的增大,所需的计算单 元数量也急剧上升。大量的计算单元虽使计算性能大 幅地提升,但也导致系统功耗急剧上升。因此,有必

^{34 *} 基金项目:广东省重点领域研发计划(高水平创新研究院定向委托)项目(2019B090917009);广州市科技计划项目(202201000009)。

要对 AI 服务器进行电源和散热管理。

本文针对 AI 服务器的电源和散热需求,设计了 底板管理控制器(baseboard management controller, BMC)系统^[1-2],实现电源冗余管理、电压电流状态 检测、服务器温度状态检测、智能散热管理等功能。

1 系统设计

为满足 AI 服务器高性能、大功率、高可靠性、 高负荷的处理能力, BMC 系统基本需求如下:

 1) 不少于 16 路加速卡电源供应,每路电源最 大功率不低于 300 W (12 V/25 A);

2) 电源冗余管理,可随时切断故障电源模块;

3) 电压电流实时状态检测;

4) 服务器内部温度状态检测;

5) 智能散热管理,根据服务器的温度、系统负荷等反馈,智能调整散热策略^[3];

6) 提供 BMC 用户管理界面;

7) 支持智能平台管理界面(intelligent platform managment interface, IPMI)协议规范^[4-5];

8) 具有信息回溯、故障信息记录等功能。

人工智能服务器的底板管理控制器系统主要包括主控单元、冗余管理、电源监测、风扇监测、温度监测等功能模块,组成框图如图1所示^[6-7]。



图 1 人工智能服务器的底板管理控制器系统组成框图

2 硬件部分

2.1 主控单元

主控单元选用服务器管理处理器 AST2600, 内部 集成2个ARM Cortex-A7核心和1个ARM Cortex-M3 核心,具有 VGA/2D 图像显示接口,可提供四路千兆 以太网接口、16 路 I²C 和 16 路 PWM 接口^[8-9]。

为方便实现 BMC 上层软件协议与控制, AST2600设计了2GB LPDDR4;采用16GB 的eMMC 用于 BMC 系统软件、应用软件、数据存储等,主控 单元的组成框图如图 1 所示。

2.2 电源管理

电源管理包括冗余管理和电源监测2部分。

冗余管理需满足16路最大功率300 W(12 V/25 A) 的输出,此外服务器内部还有 PCIe 背板、散热风扇 等设备的功率约为 500 W,通过计算得到服务器电源 总功率 P 需满足以下条件:

$P \ge 300 \text{ W} \times 16+500 \text{ W}=5 300 \text{ W}$

服务器采用的单个电源模块的额定输出功率为 2400W(12.2V/196.7A),因此至少需要3个电源 模块并联工作,才能满足系统需求。此外,还需要1 个额外的电源模块在其他电源模块故障时作冗余备 用,故服务器采用4个电源模块。

本文采用 ORing 冗余电源设计,利用二极管的单向导通特性,防止电源模块之间的电压、电流倒灌现象,并可以分离有故障的电源模块。考虑到二极管通常无法承受 196.7 A 的导通电流,故采用 ORing 电源 轨控制器与导通电流为 240 A 的 N 沟道 MOSFET 组合来实现。根据服务器实际功率提供灵活的 2+2 或者 3+1 的热备或冷备电源冗余模式,且各电源模块均支 持热拔插。

电源监测采用集成式、零漂移、双向电流/功率监测计 INA219,监测 16 路电源输出的电压、电流参数,并可直接读取电压、电流与功率,实时掌握各路电源输出的功率状态。

2.3 散热管理

散热管理包括风扇监测和温度监测2部分。

为实时监测 AI 服务器内部温度状况,在其内部 设置 6 个温度监测点,如图 2 中小方块所示。采用此 分布监测方案可较好地了解 AI 服务器的内部热量分 布状态,以便实施智能散热管理。



图 2 AI 服务器内部温度监测点示意图

利用 TMP75 数字温度传感器进行温度监测,其 分辨率达到 0.062 5 ℃,无需校准和外部信号调理且 误差范围为±1 ℃。TMP75 采用 I²C 总线通信,在单 个总线上最多可以寻址 27 个 TMP75 从设备。 AI 服务器热量主要来源于计算单元(即加速卡) 在计算过程中产生的电能消耗。计算单元的核心器件 发热与功率之间的关系为

$$T_{J\max} = T_{A\max} + (P_{D\max} \times \Theta_{JA})$$

式中:

TJ max ——核心器件表面的最高温度;

T_{A max}——环境的最高温度;

P_{D max}——核心器件的最大功率;

Θ_{JA}——核心器件的热阻率。

由公式(1)可知,核心器件的功率越大,其表面温 度越高。

电阻与温度及功率之间关系如公式(2)、(3)所示。

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$
 (2)

$$P = I^2 R \tag{3}$$

式中:

R——导体电阻;

R₀——参考温度下的电阻;

a——导体电阻的温度系数;

T——实际温度;

R——功率。

由公式(2)可知,导体电阻 R 与温度 T 成比例关系,即

 $T_{J \max} = T_{A \max} + (I^2 R_0 [1 + a (T - T_0)] \times \Theta_{JA})$

由公式(3)可知,电流不变时,功率随导体电阻的 增大而增大。

对于正温度系数器件,其功率越大则温度越高, 温度升高会导致内阻增大,内阻增大又导致功率增大, 形成恶性循环。温度一旦超过极限就可能使核心器件 损坏,因此必须对核心器件进行科学的散热管理。

温度属于迟滞型参数,AI 服务器内部虽然空气 流动性大,但局部温度通过空气或 PCB 传导到传感 器仍存在延迟时间。常规的风扇控制采用温度反馈控 制转速的方式,但因温度传递迟滞而导致系统获取的 温度滞后于服务器内的实际温度,使得散热相对延后, 进而影响服务器整体性能。本文设计的智能散热管理 算法,将电压、电流的当前状态与历史状态结合,预 测功耗趋势,提前对风扇进行转速调节,使机箱内部 温度维持在合理范围,避免计算单元发生高温失效的 情况。

AST2600 内置的脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)功能单元可对外提供 16 路输出, 每路 PWM 输出都有自己的频率控制,占空比可在 0%~100%之间设定。通过调节 PWM 输出占空比实现 风扇转速控制,通过计数器监测风扇的工作状态与实 时转速,构成 AI 服务器内部风扇的闭环控制。同时 配合温度监测与电源监测策略即可实现智能散热管 理算法,有效实时降低 AI 服务器的发热,保证大负 载下 AI 服务器工作的可靠性和稳定性。

风扇转速监测利用 AST2600 内部集成的计数器 功能,支持 16 个独立转速脉冲输入。测量方式可根 据需要选择上升沿、下降沿或2个边沿测量,并可设 置脉冲监测,在脉冲间隔不满足预设值时支持触发中 断报警。

2.4 接口

为便于本地管理和查看,系统设计了 VGA 接口, 方便接入显示器。VGA 接口最高可支持1920 × 1080 像素。同时设计 USB 2.0 协议规范的 Host 接口,以 便接入 USB 键盘和鼠标。

为支持远程管理 IPMI,系统设计了 1 000 Mb/s 以太网,方便用户远程登录、访问和控制。另外,为 方便开发调试,预留了调试用 UART 接口。

3 软件设计

系统软件根据功能和作用可划分为操作系统^[10]、 管理程序、BMC用户管理界面 3 部分。

3.1 操作系统

操作系统为AST2600处理器运行的系统程序(俗称固件),主要由U-Boot、Linux Kernel、只读根文件系统、可读可写文件系统等组成。其中,系统引导采用U-Boot-2019.04,内核采用Linux-5.10.35。

操作系统基于 Ubuntu 18.04 LTS 环境开发,编译

罗荣 胡文庆: 人工智能服务器的底板管理控制器系统设计

器使用 GCC 11.1.0,其他相关的工具和库工具版本分 别为 binutils 2.36.1 和 glibc 2.33。

操作系统主要实现系统的进程、存储、设备、文件、作业等管理,并为管理程序和用户界面提供运行 环境和相关接口服务。

3.2 管理程序

管理程序主要用于 AI 服务器内部的电源、温度、 风扇等监测^[11]。管理程序与操作系统相互独立,操作 系统在 AI 服务器接入 220 V 交流电源后,处于后台 运行状态。管理程序检测到 AI 服务器的电源按钮短 按或收到远程管理端发送的开机指令后,进行 AI 服 务器初始化操作;收到 AI 服务器的电源按钮长按或 远程管理端发送的关机指令后,进行 AI 服务器关机 操作。管理程序逻辑流程如图 3 所示。



图 3 管理程序逻辑流程

服务器内共安装 4 组 2 400 W 电源模块, 冗余策 略设计为关机仅保留 2 组电源模块热备, 防止其中 1 个电源模块出现故障而导致无法响应开机指令的情 况。开机后, 4 组电源模块全部进入热备状态, 根据 AI 服务器的计算单元功率需求, 可设置为 2+2 或 3+1 冗余模式。如单张计算卡功率为 250 W, 则总功率为 4 000 W, 可设置为 2+2 或 3+1 冗余模式; 若单张计 算卡功率为 400 W, 则总功率为 6 400 W, 则必须设

2022 年 第 43 卷 第 6 期 自动化与信息工程 37

置为 3+1 冗余模式(用户在 BMC 用户管理界面输入 对应的单张计算卡功率后,会自动列出可选的冗余模 式供用户选择)。

3.3 BMC 用户管理界面

用户管理界面是方便用户查看、访问、管理、读 取设备状态信息,并进行相关设置操作的交互程序。 系统用户管理界面基于 OpenBMC 的开源 OpenBMC Web UI 进行二次开发设计,采用 Vue.js 框架。 OpenBMC Web UI 登录界面如图 4 所示。

OpenBMC	
Language English	÷
Username	
Password	0
Log in	, fi ^C

图 4 OpenBMC Web UI 登录界面

登录后,可通过左侧的菜单栏选取相关的操作。 左侧菜单栏信息如图5所示。



4 实验测试

4.1 电源管理测试

电源模块的输入输出效率曲线如图6所示。



由图 6 可以看出,电源模块的负载在 30%~80% 时,电源效率高于 92%,因此电源管理策略的重点在 于尽量使电源模块的负载在 30%~80%工作范围内。

为测试电源管理和热拔插功能,使用负载仪设定 负载功率,系统根据负载状态设定工作电源模块,如 表1所示。其中"√"表示工作中,"〇"表示待机 状态且热拔插正常。

表1 电源管理测试

电源负载	电源模块1	电源模块 2	电源模块 3	电源模块 4
1 500 W	\checkmark	0	0	0
2 400 W	\checkmark	\checkmark	0	0
4 800 W	\checkmark	\checkmark	\checkmark	0
7 200 W	\checkmark	\checkmark	\checkmark	0

由表1可知,系统可正确控制4组电源模块的工 作状态和热拔插管理,满足设计要求。

为测试系统的自动冗余功能,按照表2设置4个电 源模块的最大输出电流,模拟电源模块输出故障状态。

	表2 电源冗	单位:A	
 电源模块1	电源模块 2	电源模块 3	电源模块 4
50	200	50	200
200	50	200	50
200	200	50	50
50	50	200	200

冗余测试时,将负载设定为3200W,系统均能 自动识别各个电源模块的故障信息(电流超限报警), 并切换到正常冷、热备的电源模块进行工作,且在系 统日志中记录了相关事件的信息和时间等。

4.2 散热管理测试

通过加载不同负载,采用常规散热控制策略(即 读取实时温度,根据温度线性调节风扇转速)与智能 散热管理算法分别对 AI 服务器进行散热管理,并记 录相应的温度数据,如图7所示。



由图 7 可以看出,采用智能散热管理算法的 AI 服务器,在负载增大过程中,其内部温度增速显著低于常规散热控制策略。

在上述的温度控制效果下,记录不同温度时常规 散热控制策略与智能散热管理算法控制的风扇转速 数据,得到不同温度下风扇转速对比图,如图8所示。



由图 8 可以看出,采用智能散热管理算法的 AI 服务器,因具有提前预判能力,散热速度更快,温度 上升较慢,进而控制风扇转速低于常规散热控制策略, 因此 AI 服务器的风扇噪声也相对较低。(注:在测 试末段,为保护 AI 服务器内部计算单元不受损伤, 均强制在温度高于 62 ℃之后启动最大转速。)

5 系统应用

应用该系统设计的"香雪-3B"(XIANGXUE-3B) 服务器在单节点内可提供 10 Pflops AI 算力,灵活支 持多种 PCIE 架构形式以适应广泛的应用需求。在 2022 年 6 月的 MLPerf Training V2.0 评测中,"香雪 -3B"共参与 5 项测试场景,提交 3 组配置和 7 项测 试结果^[12],均取得较好的成绩^[13]。

6 结语

本文针对 AI 服务器的功能需求设计了 BMC 系统,电源模块可实现无缝冷、热备切换而不影响服务器的正常运行;同时对 AI 服务器的 16 路输出电压和电流进行了实时监测,有效地掌握服务器各计算单元或加速卡的工作和负载水平。根据电源输出侧电压、电流状态,主动提前介入散热响应,相比常规基于温度反馈的散热控制策略,可有效降低 AI 服务器的内部温度。该系统既有利于 AI 服务器性能的发挥,又可以提升 AI 服务器工作的稳定性和可靠性。

参考文献

- [1] 朱建培.浅谈 BMC 管理系统在国产平台服务器中的运用分 析[J].中国设备工程,2021(8):62-63.
- [2] 吴之光,耿士华.浅谈 BMC 管理系统在国产平台服务器中的 应用[J].信息技术与信息化,2016(Z1):51-53.
- [3] 乔英良.刀片服务器监控管理系统设计与实现[D].济南:山东 大学,2012.
- [4] 王栩浩.基于 IPMI 的服务器管理系统的实现[D].上海:东华 大学,2016.

- [5] A joint message from the IPMI promoters (Dell, Hewlett Packard Enterprise, NEC, Intel Corporation). Intelligent platform management interface specification v2.0 rev. 1.1 [EB/ OL].2013-10-01.https://www.intel.com/content/www/us/en/pr oducts/docs/servers/ipmi/ipmi-second-gen-interface-spec-v2-re v1-1.html.
- [6] 郭利文.基于FPGA的多节点服务器集群的均衡系统管理设计[D].长沙:湖南大学,2018.
- [7] 蔡积淼.基于 IPMI 的服务器管理的软硬件设计与实现[D]. 济南:山东大学,2017.
- [8] 何毅平.基于 ARM 的 BMC 设计与实现[D].武汉:华中科技 大学,2014.

- [9] 阮荣友.基于 IPMI 协议的服务器主板控制器的设计与实现 [D].武汉:华中科技大学,2012.
- [10] STALLINGS William. Operating systems: internals and design principles[M].9th edition. United States: Published by Pearson, 2021.
- [11] 石博凡.基于 IPMI 协议的服务器管理系统安全诊断模块的 设计与实现[D].南京:东南大学,2018.
- [12] MLCommons. MLPerf training v2.0 results [EB/OL]. 2022-06-29. https://mlcommons.org/en/training-normal-20/.
- [13] 广东人工智能与先进计算研究院.研究院"香雪"服务器 斩获全球冠军! [EB/OL]. 2022-06-30. https://mp.weixin.qq. com/s/L2-KjrVTRbJPpOzzzpNxow.

作者简介:

罗荣,男,1993年生,工学学士,助理工程师,主要研究方向:智能仪器。E-mail: rong.luo@giaiac.cn 胡文庆(通信作者),男,1992年生,工学硕士,工程师,主要研究方向:人工智能与大数据。E-mail: wenqing.hu@giaiac.cn

(上接第26页)

- [9] 杜玉军,高明,辛维娟,等.基于机器视觉的闭气塞表面缺陷自动检测系统[J].国外电子测量技术,2011,30(4):13-16.
- [10] 程佳兵,邹湘军,林桂潮,等.基于 AdaBoost 算法的级联分类 器对绿色荔枝的快速检测方法[J].自动化与信息工程,2018, 39(5):38-44.
- [11] 万杰,张进,刘远航,等.运用光线追迹算法的高温物体视觉 三维测量[J].电子测量与仪器学报,2022,36(8):122-131.
- [12] 邹湘军,林桂潮,唐昀超,等.改进迭代最近点法的亚像素级零件图像配准[J].计算机辅助设计与图形学学报,2016, 28(8):1242-1249.
- [13] 许斌,徐凡颖,辛若铭.基于区域灰度梯度差异的摆片基片

特征尺寸视觉测量方法[J].仪器仪表学报,2022,43(5):128-135.

- [14] 王国珲,钱克矛.线阵相机标定方法综述[J].光学学报,2020, 40(1):181-193.
- [15] 王骁,刘检华,刘少丽,等.基于聚类分析的管路图像亚像素 边缘提取算法[J].计算机集成制造系统,2018,24(9):2201-2209.
- [16] 李开平,蔡萍.数字图像相关方法的亚像素算法性能研究[J]. 仪器仪表学报,2020,41(8):180-187.
- [17] ZHOU J, YU J. Chisel edge wear measurement of high-speed steel twist drills based on machine vision[J]. Computers in Industry, 2021, 128: 103436.

作者简介:

罗文,男,1993年生,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉与图像处理。E-mail:1102059569@qq.com

邹湘军(通信作者),女,1957 年生,工学博士,教授,博士生导师,主要研究方向:机器视觉与图像处理、智能机器人、虚拟现实仿真技术等。E-mail:xjzoul@163.com

陈建明,男,1974年生,本科,工程师,主要研究方向:计算机与电子软件应用技术、菲林对位曝光设备等。