

刀片服务器风扇控制及系统实现^①

李聪聪, 唐 求, 滕召胜, 王 永

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘 要: 针对刀片服务器散热系统的高稳定性、高可靠性需求, 设计了一种基于 MPC8245+FPGA 结构的风扇控制系统, 采用了一种基于阈值的风扇调速控制策略, 只有当温度的变化达到了预设的阈值之后风扇的转速才会在温度上升曲线及温度下降曲线之间转换, 从而大大减少了温度波动导致风扇频繁调速而产生的非稳态噪声。通过设计改进的复位电路, 利用单稳态触发器和 PWM 结合控制, 实现了对风扇转速的可靠控制, 保证了系统的散热。各种环境试验表明, 本文设计的刀片服务器风扇控制系统能稳定的对风扇转速进行控制。

关键词: 刀片服务器; 阈值; 调速策略; 温度波动; PWM 控制

Blade Server Fan Control and its Implementation

LI Cong-Cong, TANG Qiu, TENG Zhao-Sheng, WANG Yong

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A highly stable and reliable blade server cooling system based on MPC8245 + FPGA fan controlled system is introduced, and threshold-based fan speed control strategy is used. In the proposed control strategy only when the temperature reaches a preset threshold would the fan speed convert between temperature rise curve and the temperature drop curve, non-stationary noises caused by the frequently fan speed modification to which the temperature fluctuation led, have been greatly reduced. The reliable, precise fan speed control method is implanted using improved reset circuit and PWM control circuit. The result of various tests and trials show that the blade server fan control system can control the fan speed precisely.

Key words: blade server; threshold; speed control strategy; temperature fluctuation; PWM control

刀片服务器是一种高可用、高密度的低成本服务器平台, 是专门为特殊应用行业和高密度计算机环境设计。这种高性能、高集成的服务器设计必然引发服务器工作时的巨大热量排放问题。因此, 在刀片服务器内部采用若干风扇强制冷却, 是目前常采用的散热方式之一^[1-3]。

风扇控制系统对整个刀片服务器的散热进行控制, 因此它一旦出现故障将导致整框下电的严重后果, 从而给客户带来巨大损失。另一方面由于服务器采用的风扇数量较多、功率大, 如果风扇在小范围频繁改变转速将产生大量的非稳态噪声, 而非稳态噪声要比风扇恒定转速所产生的稳态噪声对人体产生更大的伤害^[4]。因此设计一种可靠、稳定并且能够降低非稳态

噪声的产生的风扇控制系统对于刀片服务器的应用意义重大^[5]。

本文在风扇调速中通过合理预设阈值, 在保证散热的前提下避免了温度波动而导致风扇频繁调速产生非稳态噪声, 并将单稳态触发器和 PWM 结合起来对风扇进行控制, 提高系统的可靠性。

1 风扇控制系统构成与调速策略

1.1 风扇控制系统构成

本文设计的风扇控制系统采用 FREESCALE 公司推出的中低档主处理器 MPC8245, 并通过 FPGA 来对 9 个风扇组进行监控, 系统结构框图如图 1 所示。其中, 风扇组处于刀片服务器的后部, 9 个风扇组成 3

① 收稿时间:2011-01-04;收到修改稿时间:2011-02-26

×3 矩阵式排列，每个风扇组包括两个风扇。

MPC8245 内部集成了主频为 266~300MHz 的 PowerPC 603eTM 处理器核和 PCI 桥逻辑，可以对外提供 Memory 总线、ROM/FLASH/PortX 总线以及标准 PCI 总线。MPC8245 内部频率有 266MHz 和 300MHz 两种。外部 memory 总线频率最大支持 133Mhz，PCI 总线最大支持 66MHz^[6]。

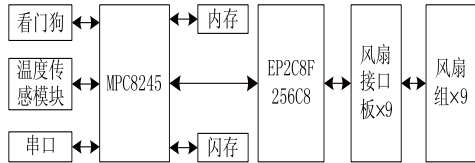


图 1 系统总体框图

FPGA 采用 ALTERA 公司的 EP2C8F256C8。系统上电之后 MPC8245 将存放在 FLASH 中的 FPGA 的代码加载到 FPGA 上。同时 MPC8245 通过温度传感模块获得各个刀片 CPU 及每个单板风口温度，并根据温度对 FPGA 发送控制命令对风扇组进行调速。而 FPGA 可将风扇的转速信号上报 MPC8245 进行管理监测。

1.2 基于预设阈值的调速策略

1.2.1 调速曲线

风扇控制系统采用基于阈值控制的风扇调速策略。随着温度的变化改变 PWM 的占空比，控制风扇转速改变，从而达到散热需求。

调速策略中设置了两条曲线，分别为温度上升曲线和温度下降曲线。当温度需要在两个曲线之间转换时需要满足设置的阈值，以此减少所产生的非稳态噪声。

根据服务器及 CPU 对温度的要求选取 52~65℃ 为线性调速范围，其中 52~62℃ 为温度下降时的线性调速区间，55~65℃ 为温度上升时的线性调速区间。风扇线性调速曲线如图 2 所示

当温度一直处于上升状态时满足：

$$y = \begin{cases} a & T < 55 \\ kT + b & 55 \leq T \leq 65 \\ 1 & 65 < T \end{cases} \quad (1)$$

当温度一直处于下降状态时满足：

$$y = \begin{cases} a & T < 52 \\ kT + c & 52 \leq T \leq 62 \\ 1 & 62 < T \end{cases} \quad (2)$$

风扇转速和占空比满足：

$$v = 9451y \quad (3)$$

式中，y 为 PWM 波形的占空比；T 为 CPU 温度；v 为风扇转速。

为了保证系统整体散热的需求，风扇在 CPU 温度较低时保证一定的速度运行，本设计中取最低的 PWM 占空比为 40%，即式中 a 为 0.4。设计中可调的 PWM 占空比范围为 40~100%。即点 (55℃, 40%)，(65℃, 100%) 在上升曲线上，带入式 (1) 可得 k=0.06, b=-2.9。同理可得 c=-2.72。

如图 2 所示，当温度一直上升时，PWM 占空比和温度的对应关系遵循图右侧曲线的轨迹，当温度一直下降时则遵循图中左侧曲线的轨迹。当温度由上升变为下降或者由下降变为上升时并非立即对风扇进行调速，而是需要连续改变 3℃ 之后才会对 PWM 的占空比进行改变，对风扇进行调速，从而避免了温度小范围波动导致对风扇频繁调速。

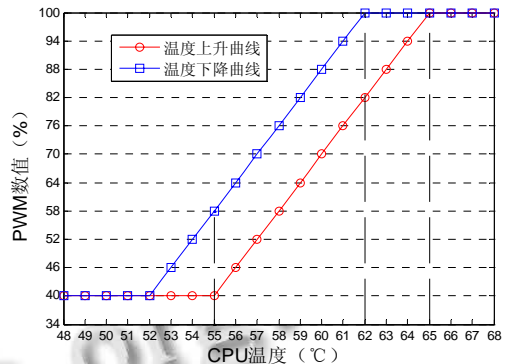


图 2 风扇调速曲线

1.2.2 调速流程

风扇调速流程如图 3 所示。系统完成初始化之后采集当前风扇的转速 v，并计算出对应的 PWM 的占空比 y，然后对温度传感器进行采集得到当前的温度 T₀。

如果温度 T₀>T，则根据式 (1) 计算出 T₀ 对应的 PWM 占空比数值 y₀。若 y₀>y，说明当前温度所需要的 PWM 占空比大于当前实际的 PWM 的占空比，此时温度处于持续上升过程，需对占空比进行增大；由式 (1) 可知将当前的 PWM 占空比数值 y 增大 6% 即可完成一次调速。若 y₀≤y，表明当前温度所需要的 PWM 占空比小于等于当前实际的 PWM 占空比，此时温度在阈值范围内变化，不需对占空比进行修改。

同理如果 $T_0 < T$, 根据式(2)计算出 T_0 对应的 PWM 占空比数值 y_0 。若 $y_0 < y$, 则说明当前温度所需要的 PWM 占空比小于当前实际的 PWM 的占空比, 此时温度处于持续下降过程, 需要对占空比进行减小。据式(2)可得将当前的 PWM 占空比数值 y 减小 6% 即可完成一次调速。若 $y_0 \geq y$, 表明当前温度所需要的 PWM 占空比大于等于当前实际的 PWM 占空比, 则不需对占空比进行调节。此时的温度变化在阈值范围之内。

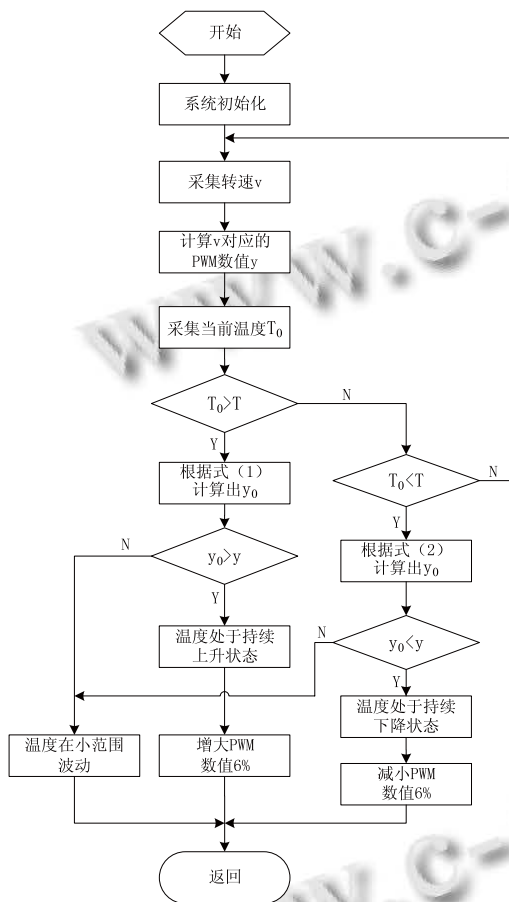


图3 风扇调速流程图

2 控制系统设计

2.1 复位电路设计

风扇控制系统中对传统的看门狗电路进行了改进, 保证了系统的可靠性。

当程序弹飞到一个临时构成的死循环中或 PC 指针在非 FLASH 芯片地址区时, 程序将完全失控。可采用程序运行监视技术, 又称“看门狗”技术^[7]。图 4 为本文中设计的看门狗电路, 本系统中采用的复位电路与传统的看门狗复位电路相比多了一个二极管 D1,

如图 4 所示。此二极管的增加避免了由于 C5 防抖电容的存在导致的 \overline{MR} 的低电平不够低的问题, 提高了系统的可靠性。

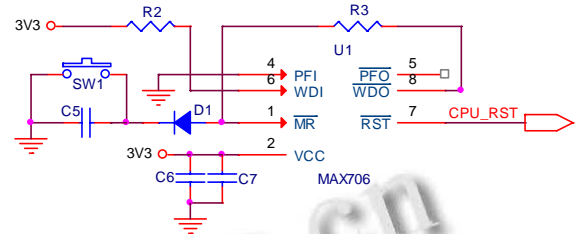


图4 看门狗复位电路

当 \overline{WDO} 为高电平时, \overline{MR} 也为高电平, 此时对电容 C5 充电, D1 正向导通。当电容充电达到电压平衡时停止。

\overline{WDO} 由高电平变为低电平时, 由于用反馈电阻 R3 相连, \overline{MR} 也将由高电平向低电平跳变。由于 D1 反向不导通, 有效地防止了电容 C5 对 \overline{MR} 放电。从而使 \overline{MR} 电平可以低到较低的定程度, 使 \overline{RESET} 能够从高电平向低电平跳变。由于电容 C5 没有放电, 还保持着高电平, \overline{WDO} 的变高就不会反过来对电容 C5 充电, 也不会再拉高 \overline{MR} 电平, 充分保证了 \overline{MR} 电平幅值, 也给整个系统可靠性带来了保障。

对上述复位电路进行了测试, 测试结果表明在没有二极管 D1 时 \overline{MR} 的低电平最低值为 1.1V, 而 MAX706 要求的低电平的最高值为 0.8V, 1.1V 给可靠复位带来一定的风险。而加上 D1 之后 \overline{MR} 低电平最低值为 0.1V, 可以保证系统的可靠复位。

2.2 PWM 控制电路设计

PWM 控制电路是为了保证当 PWM 波形因为故障而为全部低电平时能够保证风扇继续运行, 从而避免整框的单板因为过热而崩溃。

风扇转速的控制是通过 PWM 的占空比的改变来实现的^[8], 通过 9 个 PWM 通道实现对 9 组风扇的控制。由 MPC8245 根据调速策略下发命令, FPGA 根据 CPU 下发的命令, 输出一定占空比的波形, 控制风扇转速。

PWM 控制电路如图 5 所示。采用单稳态触发器对 PWM 波形进行监测而输出 PWM_OK 信号。利用 PWM_OK 对三极管的开关决定了 PWM0、PWM1 是否跟随 MM_PWM 对风扇调速而保证了当 MM_PWM 故障时风扇仍能够全速运行。

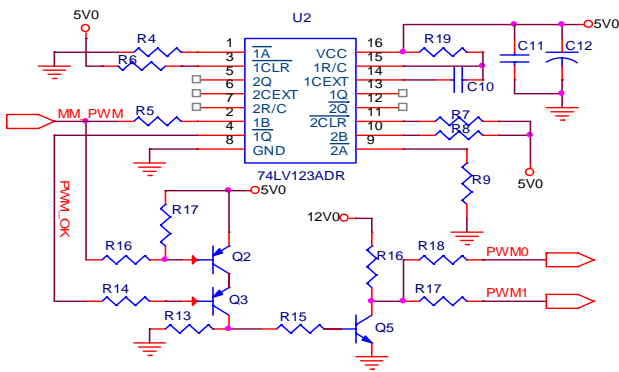


图 5 PWM 控制电路

MM_PWM 为可重触发单稳态触发器的触发信号。此设计中 MM_PWM 脉冲的周期 $T=60\mu s$ ，据图 5 可得单稳态脉冲宽度 $T_w=0.7R_{19}C_{10}$ ^[9]。如果 $T_w>T$ 则在 PWM 波形正常时单稳态触发器一直处于触发状态，即 \bar{Q} 一直为低电平。当系统故障而导致 PWM 为全高或者全低时 \bar{Q} 输出为高。

本设计中取 $R_{19}=10k\Omega$ ， $C_{10}=1\mu F$ ，则 $T_w=7ms$ ，以保证 \bar{Q} 能够稳定的保持低电平。

当 MM_PWM 正常时 PWM_OK 为低，此时 MM_PWM 为 3.3V 的电平信号，而三极管用的是 5V 电源，因为电平不匹配有以下两种情况。

当 MM_PWM 处于高电平时为使 Q₂ 导通则需要满足

$$\frac{V_{CC}-V_b}{R_{43}} = \frac{V_b-V_{MM_PWM}}{R_{39}} \quad (4)$$

$$V_b > V_{CC}-V_{eb} \quad (5)$$

当 MM_PWM 处于低电平时为使 Q₂ 截至则需要满足

$$\frac{V_{CC}-V_b}{R_{43}} = \frac{V_b}{R_{39}} \quad (6)$$

$$V_b < V_{CC}-V_{eb} \quad (7)$$

式中，VCC 为三极管 Q₂ 的集电极电压 5V； V_{MM_PWM} 为 MM_PWM 信号的电平，高时为 3.3V； V_b 为三极管 Q₂ 的基极电压； V_{eb} 为三极管 Q₂ 导通时的发射结电压 0.7V。

由式 (4)、(5)、(6)、(7) 可得

$$0.16R_{16} < R_{17} < 0.7R_{16} \quad (8)$$

本设计中取 $R_{16}=1k\Omega$ ， $R_{17}=470\Omega$ 。

据以上分析可得当 MM_PWM 为低时，三极管 Q₂、

Q₃ 导通，此时 Q₃ 的 C 极为高电平，可使 Q₅ 导通，PWM0、PWM1 为低。同理当 MM_PWM 为高时可得 PWM0、PWM1 为高。即当 MM_PWM 正常时 PWM0、PWM1 与 MM_PWM 即跟随关系，保证了对风扇的正常调速控制。

当 MM_PWM 异常时，即 MM_PWM 为一直为高或者为低时。此时 PWM 的周期 T 已经远远大于了 T_w ，使得单稳芯片一直没有被触发。此时的 \bar{Q} 则一直保持高电平。由图 5 可知因为 PWM_OK 为高电平，则 Q₃ 一直处于截止状态，因此 Q₅ 的 B 极为低电平而使 Q₅ 也处于截止状态。因此 PWM0、PWM1 保持为高，风扇全速运行避免了因散热而导致整个系统的瘫痪，提高了系统的稳定性。

3 实验结果分析

大量的实验与测试表明，基于本文研究方法设计的刀片服务器风扇控制系统能够对风扇转速进行精确控制，并稳定运行。

表 1 有无阈值时 PWM 占空比及风扇转速的情况

温度 (°C)	阈值 PWM (%)	阈值转速 (转)	无阈值 PWM (%)	无阈值转速 (转)
55	40	3780	40	3780
56	46	4347	46	4347
57	52	4915	52	4915
58	58	5482	58	5482
59	64	6049	64	6049
58	64	6049	58	5482
57	64	6049	52	4915
58	64	6049	58	5482
57	64	6049	52	4915
58	64	6049	58	5482
57	64	6049	52	4915
58	64	6049	58	5482
59	64	6049	64	6049
60	70	6616	70	6616
59	70	6616	64	6049
58	70	6616	58	5482
57	70	6616	52	4915
56	64	6049	46	4347
55	58	5482	40	3780

测试结果如表 1 所示。表 1 给出了设置阈值和不设置阈值时随着温度变化 PWM 占空比和风扇转速变化的情况。由表 1 可知当温度处于阈值范围内波动时，控制系统并不对风扇转速进行调解，而不设置阈值的调速策略每当温度变化 1°C 就对风扇进行调速。

根据表 1 可得有无阈值时风扇转速调节对比曲线

如图6所示,图中ab段曲线为温度在阈值范围内波动时风扇转速的变化情况。由图6可知,采用无阈值的调速策略时,温度波动时控制系统频繁对风扇进行调速,而采用阈值调速的则并不对风扇进行调速。从而避免了非稳态噪声的产生及不必要的电机磨损并提高了系统的稳定性。

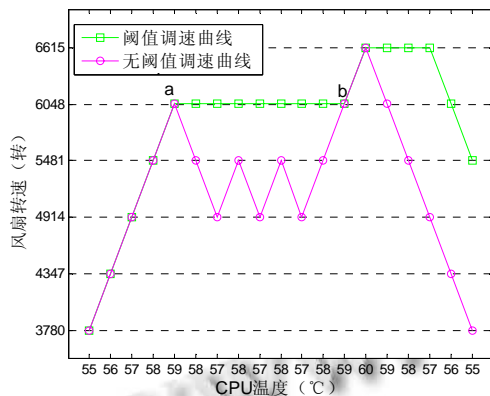


图6 有无阈值时风扇转速调节对比曲线

此外,对风扇系统进行了模拟故障试验。将MM_PWM强制全部为高或者低模拟故障情况,实验结果表明在故障情况下,风扇能全速运行从而保证刀片服务器的正常散热。

4 结论

本文设计的调速策略通过合理设置阈值范围,解决了温度小范围波动而导致风扇被反复调速的问题,从而避免了风扇被小范围反复调速而产生非稳态噪声及电机加速磨损等问题;结合PWM控制电路设计解决了当PWM输出出现故障而导致风扇系统崩溃的问

题,提高了系统的稳定性及可靠性。所设计的系统通过了各种环境实验,运行正常,已在销售的千余套产品中稳定运行一年以上。

参考文献

- 1 Wu XP, Mochizuki M, Nguyen T, et al. Low profile-high performance vapor chamber heat sinks for cooling high-density blade servers. 23rd Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM). San Jose, CA, 2007. 174-178.
- 2 Rangana TP, Leech P, Irwin D, et al. Ensemble-level power management for dense blade servers. Proc. of The International Symposium on Computer Architecture (ISCA). Boston, MA, 2006. 66-77.
- 3 张寰,陈剑.刀片服务器散热系统噪声实验研究.声学技术,2008,27(4):584-587.
- 4 龙庆伟,宋秀丽,毛洁.不同类型的噪声对作业工人听力损害的调查分析.医药论坛杂志,2006,27(18):77-78.
- 5 周建辉,杨春信,等.CPU空气强迫对流冷却系统设计.电子学报,2007,8:1592-1597.
- 6 章晓明,杜春燕,陆建德.HHPPC8245上的嵌入式Linux移植及VPN开发.计算机工程,2007,33(2):274-276.
- 7 章良锋,高晓丁,沈瑜.细纱机摇架微机自动检测系统可靠性设计.仪器仪表学报,2006,27(6):270-272.
- 8 谢海鹤,邹文栋,黄长辉,等.基于PWM比较放大的LD温控系统.仪器仪表学报,2009,30(7):1530-1534.
- 9 康华光,邹寿彬.电子技术基础数字部分.北京:高等教育出版社,2000.

(上接第209页)

参考文献

- 1 侯志强,韩崇昭.视觉跟踪技术综述.自动化学报,2006,32(4):603-617.
- 2 汪国有,姜远利,杨永祥.基于Blackfin DSP的实时视频采集接口设计与实现.计算机与数字工程,2006,34(1):125-128.
- 3 陈峰.基于Blackfin DSP的数字图像处理.北京:电子工业出版社,2009.11-12.
- 4 柳笛,黎福海,闫旭.基于Blackfin DSP的图像数据采集设计.计算机系统应用,2008,17(1):117-119.
- 5 张洁.Blackfin DSP在数据高速采集中的应用.电子测量技术,2006,30(2):133-134.
- 6 Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-Based Object Tracking. IEEE Trans. on Pattern analysis and Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003,25(5): 564-577.
- 7 顾凤嫄.基于MeanShift的视频跟踪算法研究.西安:西安电子科技大学,2009.
- 8 鲁一杰,赵攀,彭强,江永全.基于DSP的视频车辆实时检测系统的实现.计算机应用研究,2010,26(2):757-759.