

# 任务敏感的多模式视频编码系统功耗控制方法

曹 倩<sup>1</sup>,李辉勇<sup>2</sup>,左 敏<sup>1</sup>,姜同强<sup>1</sup>,蔡 强<sup>1</sup>,王 瑜<sup>1</sup>

(1. 北京工商大学计算机与信息工程学院食品安全大数据技术北京市重点实验室,北京 100048;  
2. 北京航空航天大学计算机学院,北京 100191)

**摘 要:** 在嵌入式多模式视频编码系统中,动态电压频率调整(Dynamic Voltage and Frequency Scaling, DVFS)技术可在一定程度上节约系统能耗,然而持续降低电压和频率可能影响处理器接口资源的传输性能,甚至导致系统无法正常工作. 针对该问题,提出了一种任务敏感的功耗控制方法. 通过研究多模式视频编码任务量和处理器资源之间的关系,建立一个任务敏感的资源配置模型,基于该模型设计了一个自适应功耗控制器,在系统工作过程中根据编码任务量的不同动态调节处理器工作频率和工作核数. 实验表明,在满足多模式实时视频编码功能和性能要求的基础上,该文提出的方法与传统 DVFS 技术相比,单帧视频编码的平均功耗节省了 11.4%.

**关键词:** 功耗; 多模式视频; 嵌入式系统; DVFS; 视频编码

**中图分类号:** TN919

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2016)07-1592-07

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.07.011

## Task-Aware Power Control Method for Multi-Mode Video Compression System

CAO Qian<sup>1</sup>, LI Hui-yong<sup>2</sup>, ZUO Min<sup>1</sup>, JIANG Tong-qiang<sup>1</sup>, CAI Qiang<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>1</sup>

(1. Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. School of Computer Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Dynamic voltage and frequency scaling (DVFS) technique, to some extent, controls the energy consumption for embedded multi-mode real-time video compression system. Yet, continuously decreasing voltage and frequency might affect interface resource transfers and even the normal system operations. To solve the problem, we proposed a task-aware power control method in response to task variations. We first analyzed the relationship between the workloads and processor resources, and then established a task-aware resource configuration model. Based on this model, we designed an adaptive power controller, which dynamically adjusts processor frequency and the number of cores. The experiments indicate that our method fulfills function and performance requirements of multi-mode video encoding system, with power consumption for encoding a frame reduced by 11.4% compared with traditional DVFS technique.

**Key words:** power consumption; multi-mode video; embedded system; DVFS; video compression

## 1 引言

多模式视频编码是指不同类型和不同分辨率的视频图像(可见光、红外以及数码相片等)进行多种码率的实时编码. 该论文主要是研究嵌入式多模式实时视频编码系统,支持多种分辨率、帧率的可见光和红外视

频在多种码率下的实时编码,以满足不同光照条件和传输带宽的应用需求,便于突发事件(如交通事故、自然灾害等)的应急处理.

随着系统复杂性的不断提高,嵌入式系统在追求高性能的同时,功耗控制成为一个需要解决的关键问题之一<sup>[1-4]</sup>. Yoo<sup>[5]</sup>提出了一种新颖的功耗-性能扩展方

收稿日期:2015-11-03;修回日期:2016-03-03;责任编辑:李勇锋

基金项目:北京市教委科学研究面上项目(No. KM201410011005);北京市优秀人才培养资助项目(No. 2015000020124G029);北京工商大学教育教学改革项目(No. jg155225);国家科技支撑计划(No. 2015BAK36B04);北京市青年拔尖人才计划(No. CIT&TCD201404029);北京市自然科学基金重点项目(No. KZ201410011014);轨道交通控制与安全国家重点实验室(北京交通大学)开放课题(No. RCS2015K009)

法,在归纳出功耗-性能扩展的规律基础上,将 DVFS 与多核扩展性联系起来. Li 等人<sup>[6]</sup>根据多任务在多核处理平台的特定配置,动态调节处理器的频率,达到降低功耗的目的. You 等人<sup>[7]</sup>基于嵌入式 GPU 提出了一种软件管理的 DVFS 架构,通过分析 GPU 处理负载的变化从而证实了 DVFS 在 GPU 上的可用性.

近些年,很多研究专注于通过任务调度来实现节约能耗,这类能耗敏感的任务调度根据不同的任务动态调整电压及频率,为有效节约能耗提供了可行的方案<sup>[8]</sup>. Anagnostopoulos 等人<sup>[9]</sup>结合动态内存管理和 DVFS 技术,通过实时内存监控机制来控制 DVFS 进行频率和电压调整,降低系统功耗. Cho 等人<sup>[10]</sup>针对 ARM 嵌入式系统,提出了一种基于计算密度的 DVFS 算法,该方法根据应用程序访存的情况调整最优的频率. 实验证明该方法与现有的嵌入式系统中能耗控制方法相比具有一定的优势,可以节约能耗 17% 左右,但是该算法仅适用于访存密集型的应用. Noguees 等人<sup>[11]</sup>提出了一种轻量级的 DVFS 使能软件,从而适应 HEVC 实时编码中的不同任务需求. 该方法尤其适用于移动应用程序,该方法对于每秒 60 帧像素 720p 的视频编码大约消耗 1.1W. 考虑在实际应用中任务的执行往往受到运行平台、输入数据集等因素的影响,因此可以将任务完成到某个概率作为限定条件,从而研究能耗敏感的概率调度方法,以权衡系统功耗与执行时间<sup>[12]</sup>.

上述研究成果可知, DVFS 技术可以有效控制嵌入式系统的功耗,然而对于一些嵌入式处理器而言,其部分外围接口的工作时钟由处理器频率分频得到,因此过度降低处理器的频率将会对其他资源(如 EMIF 接口、共享存储管理等)产生影响,甚至无法满足数据传输的需求<sup>[13]</sup>. 鉴于此,本文面向多模式视频编码系统,结合 TMS320C6678 处理器(以下简称 C6678)特性和 DVFS 技术提出了一种任务敏感的功耗控制方法(Task-Aware Power Control Method, TAPCM). 其主要工作包括: 1) 通过抽象提取多模式视频编码参数,建立了一种任务敏感的处理器的资源配置模型,该模型描述了任务量与处理器利用率之间的关系,为系统功耗控制方法提供了技术基础. 2) 根据任务敏感的处理器的资源配置模型,设计了一种自适应的功耗控制器,通过实时监控系统的任务模式,动态调整处理器频率和处理器核数,达到节省系统功耗的目的. 3) 在自主设计的基于 HEVC 的多模式视频编码系统中进行验证,实验结果表明该方法在满足系统功能的基础上可有效降低功耗.

## 2 任务敏感的功耗控制方法

在多模式实时视频编码系统中,常见的视频包括:可见光视频和红外视频. 由于视频分辨率、帧率、像素位

宽以及编码码率不同,所以编码处理时所需要的计算量不同,即完成编码任务所要求的 DSP 负载能力存在差异. 然而,在系统设计时为了完成所有处理任务,必须保证满足最大负载任务的需求. 在系统运行过程中,如果 DSP 处理性能固定不变就会存在一个问题:当由负载较大的任务模式切换到负载较小的任务模式时,可能会因负载太小从而导致处理器功耗浪费. 若能根据任务需求的变化,动态配置 DSP 的处理资源,将在一定程度上降低系统功耗.

C6678 作为频率可调节的嵌入式多核处理器,可通过减低处理器频率和减少工作核数来控制处理功耗<sup>[13,14]</sup>. 在处理器核的平均利用率为 80%,工作温度为 50℃,只开启 DDR3、串行高速输入输出(SRIO)和共享存储资源的条件下,C6678 处理器不同主频条件下的性能、功耗对比如表 1 所示.

表 1 C6678 处理器不同主频条件的性能和功耗

频率 /MHz	核电压 /V	功耗 /W	单核性能 /GMAC	单核功耗 /W
800	0.9	9.225	25.6	0.517
1000	1.0	10.547	32	0.634
1250	1.1	13.715	40	0.785

因此,该文结合不同处理模式的任务量动态调整 DSP 的频率和工作核数量,在满足任务处理需求的基础上,避免 DSP 利用率太小而导致的功耗浪费,实现降低系统功耗的目标.

### 2.1 多模式任务描述

为了便于描述,假设视频编码系统需要支持  $L$  种任务模式,每种任务模式可用一个七元组描述,即第  $i$  ( $1 \leq i \leq L$ ) 种任务模式可表示为  $M_i = \langle h_i, w_i, b_i, c_i, f_i, T_i, \tau_i \rangle$ , 其中  $h_i, w_i, b_i, c_i$  分别表示视频的分辨率(高、宽)、码率、像素位宽,该文称其为视频编码参数; $f_i$  表示视频帧率; $T_i$  表示单帧视频编码的平均最长处理时间,其值由任务模式中的视频帧率决定,即  $T_i = 1/f_i$ ;  $\tau_i$  为单帧视频编码的平均 DSP 处理周期,用于表示第  $i$  种模式的业务量,在实际应用中通过实时统计连续  $n$  帧视频编码的 DSP 处理周期再计算平均值得到. 需要注意的是,  $n$  的取值会影响统计的准确性和配置调整的延时,需要进行折中处理. 针对从负载较小的任务模式到负载较大的任务模式的调整,为了避免因统计任务量而造成系统负载过重的问题,在实际应用中,可将这种情况下的系统配置先调整到最高级,在保证系统功能和性能的基础上,再进行配置调整.

在获得业务量的基础上,第  $i$  种模式中单帧视频编码的平均处理时间  $t_i$  可表示为:

$$t_i = \frac{\tau_i}{F} \times 6 \quad (1)$$

其中  $\tau_i$  表示处理一帧视频编码平均需要的 DSP 处理周期,  $F$  表示 DSP 的工作频率, 则 DSP 的时钟周期为  $1/F$ , 因为在实际实现中视频编码消耗的时钟周期是采用 6 分频的时钟频率统计的, 所以式(1)有一个乘 6 操作。

## 2.2 任务敏感的资源配置模型

假设在任务  $i$  的执行周期内 DSP 的利用率为  $\eta_i$ , 结合式(1)有:

$$\eta_i = \frac{t_i}{T_i} = \frac{6\tau_i}{FT_i} = \frac{6\tau_i f_i}{F} \quad (2)$$

其中  $\tau_i$  是系统实时统计值, 具体大小与视频编码参数、编码算法和视频内容等因素相关;  $f_i$  是视频帧率, 其值由编码任务模式决定。由式(2)可知 DSP 的利用率  $\eta_i$  与 DSP 的主频成反比关系。在实际应用中, 由于视频内容不断变化, 结合视频编码原理可知, 运动较剧烈的视频所消耗的处理周期较多, 即任务量较大, 而运动平缓的视频消耗的处理周期较少, 即任务量较小, 因此在同一视频任务模式下 DSP 的利用率也不是一个固定值。为了避免 DSP 利用率太低而造成的功耗浪费, 需要根据任务量的变化动态调节 DSP 资源从而将其利用率控制在一个相对稳定的范围内, 即:  $|\eta_i - \eta| \leq \lambda$ , 其中  $\eta$  和  $\lambda$  分别为用户设定的 DSP 利用率值和误差范围。为了保证满足所有任务的需求, 可根据最大的任务负载设定  $\eta$  和  $\lambda$ 。因此有:

$$\left| \frac{6\tau_i f_i}{F} - \eta \right| \leq \lambda \quad (3)$$

由式(3)可得:

$$\frac{6\tau_i f_i}{\eta + \lambda} \leq F \leq \frac{6\tau_i f_i}{\eta - \lambda} \quad (4)$$

根据式(4)的计算结果从表 1 中选择 DSP 的主频进行调整, 如果有多个符合条件的 DSP 主频, 为了满足任务处理功能, 选择较大的进行调整。

根据电路动态功耗特性可知, 在执行任务  $i$  时, DSP 的主频越大, 其功耗越高, 反之亦然。然而, 当主频为 800MHz 时, 如果 DSP 的利用率仍然过小则可考虑对处理器工作核数进行调整, 即通过关闭部分处理器核以进一步降低系统功耗。由于 DSP 工作核数的改变会影响算法的处理流程, 为了尽量降低功耗控制方法的复杂性, 以下工作核调整模型的建立是基于数据并行的视频编码算法。

在基于数据并行的视频编码方式下, 视频数据将按照多核处理器工作核的数量将视频分成相应的数据块分配到各个处理器核进行编码<sup>[15]</sup>。所以假设在任务  $i$  的执行周期内 DSP 的利用率  $\eta_i$  满足  $|\eta_i - \eta| \leq \lambda$  条件时的工作核数为  $N_i$  ( $1 \leq N_i \leq 8$ ), 每个工作核的任务量

为  $\tau_i^n$ , 则总任务量  $\tau_i^{\text{total}} = \sum_{n=1}^{N_i} \tau_i^n$ , 当任务模式调整为任务  $j$  时, 每个处理器核的任务量为  $\tau_j^n$  (假设  $\tau_j^n < \tau_i^n$ ), 则在满足视频编码任务需求的基础上, 为了进一步减少 DSP 空闲造成的功耗损失, 可以根据任务量的变化调整 DSP 的工作核数, 使得 DSP 的利用率  $\eta_j$  仍然满足  $|\eta_j - \eta| \leq \lambda$ 。

C6678 是同构多核处理器, 每个工作核的性能相同, 在基于数据并行的视频编码处理方式下, 分配给每个核的数据量基本相同, 因此在任务  $i$  的执行周期内每个核的平均任务量  $\tau_i^{\text{av}} = \frac{\tau_i^{\text{total}}}{N_i}$ 。当任务模式由  $i$  调整为  $j$  时, DSP 的总任务量减少值  $\tau_{i \rightarrow j} = \tau_i^{\text{total}} - \tau_j^{\text{total}}$ , 所以可以减少的工作核数为  $\lfloor \tau_{i \rightarrow j} / \tau_i^{\text{av}} \rfloor$ , 其中  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示向下取整。综上所述, 在任务模式为  $j$  时, DSP 工作核数  $N_j$  为:

$$\begin{cases} N_j \geq N_i - \lfloor \frac{(\tau_i^{\text{total}} - \tau_j^{\text{total}}) N_i}{\tau_i^{\text{total}}} \rfloor \\ |\eta_j - \eta| \leq \lambda \end{cases} \quad (5)$$

其中  $1 \leq N_j \leq 8$ ,  $1 \leq N_i \leq 8$ , 并且  $N_j, N_i$  均属于整数集。由式(5)可知, 通过调整 DSP 的工作核数量可以改变 DSP 的利用率。  $\eta_j$  可由式(5)获得, 在实际应用中, 为了保证调整后 DSP 的处理性能可以满足系统功能的需求, 在可行解中选择满足  $|\eta_j - \eta| \leq \lambda$  条件下的最大工作核数。

## 2.3 自适应功耗控制器的设计

为了实现系统功耗的自动控制, 需要结合不同模式的视频编码和功耗控制模型设计一个自适应功耗控制器, 通过该控制器可以实时监控系统任务模式, 并依据不同的任务模式需求动态调整 DSP 频率和工作核数量, 达到降低功耗的目的。

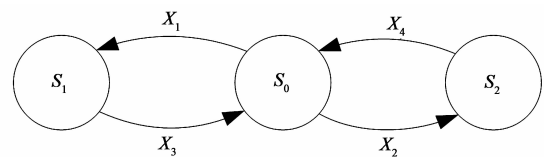


图1 控制器的自动状态机模型

控制器自动状态机模型如图 1 所示, 可采用  $G = (\bar{S}, \bar{X}, \bar{R}, \delta, \varphi)$  表示。具体如下:

(1) 状态集合  $\bar{S} = \{S_0, S_1, S_2\}$ 。其中  $S_0$  为实时检测模式切换命令, 根据命令内容判断是否进入 DSP 处理性能调整状态。  $S_1$  表明正在执行资源调整, 负载较大时提高 DSP 处理性能, 以符合任务需要。  $S_2$  表明正在执行资源调整, 在满足任务需求的基础上, 降低 DSP 处理性能, 节省能耗。

(2) 事件集合  $\bar{X} = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ 。  $x_1$  表示检测到系统从小负载任务模式向大负载任务模式切换的命令有

效,  $x_2$  表示检测到系统从大负载任务模式向小负载任务模式切换的命令有效.  $x_3$ 、 $x_4$  分别表示提高、降低 DSP 性能操作完成.

(3) 操作集合  $\bar{R} = \{r_1, r_2\}$ .  $r_1$  和  $r_2$  分别表示提高和降低 DSP 处理性能.

(4) 状态转换函数  $\delta: \bar{S} \times \bar{X} \rightarrow \bar{S}$ , 表明控制器根据当前的状态和事件的类型决定下一刻的状态.

(5) 输出函数  $\varphi: \bar{S} \rightarrow \bar{R}$ , 表明控制器在不同状态执行不同操作, 具体定义为  $\varphi(S_1) = r_1, \varphi(S_2) = r_2$ .

功耗控制器初始状态为  $S_0$ , 当事件  $x_1$  (或  $x_2$ ) 发生时进入状态  $S_1$  (或  $S_2$ ), 并做出相应的控制动作  $r_1$  (或  $r_2$ ). 当  $r_1$  (或  $r_2$ ) 执行结束后, 控制器自动回到状态  $S_0$ .  $S_1$  和  $S_2$  为瞬间状态, 它们随着控制动作的结束而自动结束.

### 3 实验及结果分析

#### 3.1 实验方案

结合多模式实时视频编码系统的任务需求, 其常用的工作模式包括 7 种, 即  $L = 7$ . 具体任务属性描述如表 2 所示. 在高清可见光视频实时处理状态下, 由于需要处理的视频数量最大, 在使用相同编码算法的情况下, 要求 DSP 的处理性能最高. 视频编码的任务量  $\tau_i$  需要通过系统测试得到, 在本实验中通过实时统计连续 50 帧视频编码的 DSP 处理周期再取平均值得到.

表 2 多模式实时视频编码任务属性描述

任务模式取值	说明
$M_1 = \langle 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$	初始上电, 无任务需要处理
$M_2 = \langle 1392, 1080, 3.84, 24, 25, 40\text{ms}, \tau_2 \rangle$ $M_3 = \langle 1392, 1080, 1.92, 24, 25, 40\text{ms}, \tau_3 \rangle$	高清可见光视频实时处理
$M_4 = \langle 720, 576, 3.84, 24, 25, 40\text{ms}, \tau_4 \rangle$ $M_5 = \langle 720, 576, 1.92, 24, 25, 40\text{ms}, \tau_5 \rangle$	标清可见光视频实时处理
$M_6 = \langle 640, 512, 3.84, 10, 50, 20\text{ms}, \tau_6 \rangle$ $M_7 = \langle 640, 512, 1.92, 10, 50, 20\text{ms}, \tau_7 \rangle$	红外视频快速处理

由表 2 可知, 根据不同的任务模式, 结合 C6678 功耗优化特性, 在满足任务处理性能的基础上, 可通过两种方式进行功耗控制: 第一, 执行任务时, 实时检测 DSP 状态, 在其空闲时降低 DSP 的频率和资源配置; 第二, 根据任务模式不同, 动态调整 DSP 频率和资源配置, 提高 DSP 利用率, 避免空闲状态. 从理论上分析, 这两种方式都可以达到控制 DSP 功耗的目的. 然而在具体操作时, 准确的判断处理器工作状态切换点是功耗控制方法有效实现的关键. 针对第一种方式, DSP 空闲一般会出现在一帧数据处理完成和下一帧数据开始处理之间, 由于这段时间在毫秒级, 而且频繁出现, 若频繁地调整 DSP 频率和资源配置将会引入大量额外的开销, 因此第

一种方式在工程设计中不实用; 对于第二种方式, 只有在任务模式切换时进行 DSP 频率的调整, 因为每种任务模式的执行周期比较长, 短则几分钟, 长则几个小时, 而且任务切换是通过控制命令实现的, 切换的时间点容易判断, 便于操作, 因此本文实验中选择第二种处理方式.

实验平台选用基于 C6678 自主设计的多模式实时视频编码处理板, 搭建专用的测试环境, 组建如图 2 所示的多模式视频图像编码处理板实验平台. 其中专用发送板与专用接收板分别安装在计算机的 PCI-E 总线和 PCI 总线上. 专用发送板与多模式视频压缩处理板之间通过 cameraink 总线和串口互联, 多模式视频压缩处理板与专用接收板之间通过 LVDS 总线互联. 进行试验测试时, 专用发送板通过 PCI-E 总线实时读取计算机内存储的高清、标清和红外视频通过 cameraink 总线传入多模式视频压缩处理板, 同时通过串口发送多模式控制命令, 控制多模式视频压缩处理板工完成不同模式实时视频的采集和编码压缩. 最后, 多模式视频压缩处理板将编码码流通过 LVDS 总线传入专用接收板, 再通过 PCI 总线传输到计算机进行解码显示, 验证正确性. 本文实现的 HEVC 编码器是在 HM4 基础上对帧内预测、帧间预测、变化量化以及自适应环路滤波等关键模块进行了改进和优化的算法, 其编码参数为: CU 最大尺寸为  $64 \times 64$ , 深度为 4, 参考帧数为 4, 高码率时 QP 分别为 27, 低码率时 QP 为 32.

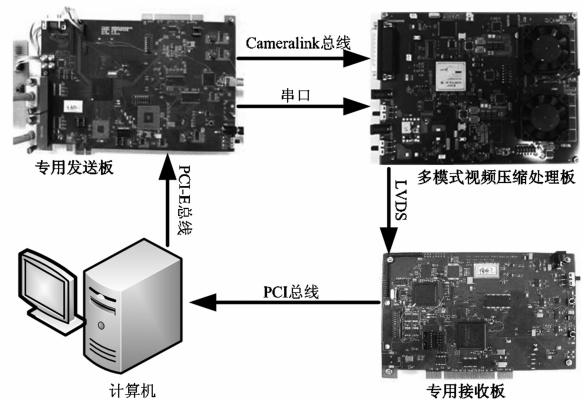


图 2 多模式视频图像编码处理实验平台

#### 3.2 结果分析

每种任务模式的主要参数包括视频分辨率、帧率、像素位宽和码率等. 编码处理采用最新的 HEVC 视频编码算法, 经过优化后在 C6678 上执行. 为了验证该文中提出的功耗控制方法的效果, 在相同条件下, 分别对不使用功耗控制方法、使用 DVFS 方法 [12] 和使用该文中方法 TAPCM 进行实验, 表 3 为不使用和使用 DVFS 功耗控制方法的实验结果, 表 4 为使用 TAPCM 的实验结果. 根据反复的实验评估, 设定  $\eta$  和  $\lambda$  分别为 0.7 和 0.1. 图 3

为 TAPCM 与不使用功耗控制、传统 DVFS 方法系统功耗的对比。

表 3 不使用和使用 DVFS 功耗控制方法实验结果

任务模式	无功耗控制				DVFS			
	频率 /MHz	电压 /V	核数	功耗 /W	频率 /MHz	电压 /V	核数	功耗 /W
$M_1$	1250	1.1	8	13.5	100	0.9	8	8.5
$M_2$	1250	1.1	8	16.1	1250	1.1	8	16.1
$M_3$	1250	1.1	8	15.7	1000	1.0	8	13.4
$M_4$	1250	1.1	8	15.5	800	0.9	8	12.3
$M_5$	1250	1.1	8	15.5	800	0.9	8	12.2
$M_6$	1250	1.1	8	15.3	800	0.9	8	11.3
$M_7$	1250	1.1	8	15.3	800	0.9	8	11.3

表 4 使用 TAPCM 的功耗控制方法实验结果

任务模式	TAPCM					
	任务负载 $\tau_i$ /cycles	频率 /MHz	电压 /V	核数	功耗 /W	节省率/% (与无功耗控制比)
$M_1$	0	100	0.9	0	7.1	47.4
$M_2$	5416666	1250	1.1	8	16.1	0
$M_3$	4309369	1000	1.0	8	13	17.2
$M_4$	1805555	800	0.9	5	10.6	31.6
$M_5$	1436456	800	0.9	4	10	35.5
$M_6$	198141	800	0.9	1	9.2	39.9
$M_7$	157636	800	0.9	1	9	41.2

由实验结果可知,当不使用功耗控制方法时,不同任务模式所产生的平均功耗也有所不同,如在进行高清视频编码时,功耗最高.在系统刚加电时,无任务状态的功耗最低,其余几个任务模式的平均功耗也不尽相同,但是总体相差不大,主要原因在于 CMOS 电路的动态功耗与电路中电平翻转的次数有关,当无任务或需要处理的的数据量较少时,DSP 负载较小,所以产生的功耗较低.对于使用功耗控制方法的实验结果,可以看到其功耗明显降低,在处理最小负载任务模式  $M_7$  时的功耗比处理最大负载任务模式  $M_2$  的功耗节省了 44%. 不考虑无任务模式,传统的 DVFS 功耗控制方法和本文的 TAPCM 功耗控制方法相比,处理单帧视频的平均能耗节省了 11.4%. 采用 DVFS 策略的功耗控制方法处理器频率为 800MHz 以上,并且需要工作核数为满负荷时与 TAPCM 具有相近的效果.但是随着负载进一步减小,TAPCM 关闭部分处理核可以进一步降低系统功耗.

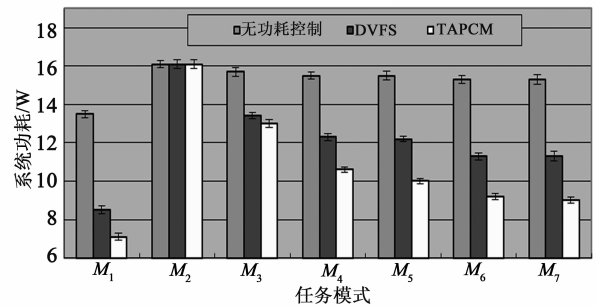


图 3 功耗控制效果比较

为了进一步测试 TAPCM 控制方法的有效性,针对不同分辨率的视频做了长时间的测试,其中不同分辨率视频序列的具体参数如表 5 所示.

表 5 实验选用不同视频序列的参数

视频分辨率	序列个数	视频累计时长(分钟)	位宽(位)	帧率(帧/秒)	编码码率(Mbps)
1920 × 1080	20	60	24	25	3.84
720 × 576	15	50	24	25	1.92
640 × 512	12	48	10	50	1.92

由图 4 可以直观的看到,不同分辨率的视频在编码时所需要的时间都呈现高斯概率分布,这是因为相同分辨率的视频,视频的内容不同,例如运动剧烈和运动缓慢、纹理复杂和纹理简单等等,在编码处理时其复杂度也不同,消耗的处理周期存在差异.图 5 采用累积分布函数显示了不同分辨率视频在完成单帧视频编码所需要的时间,因此采用本文提出的 TAPCM 控制方法在处理标清和红外视频时,在保证视频实时处理性能的基础上,合理降低系统处理性能,从而换取功耗的降低.

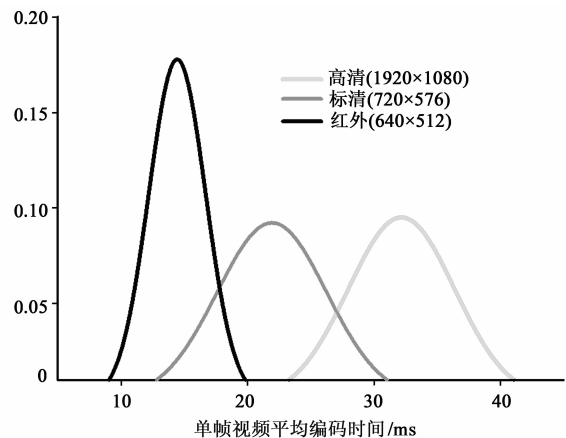


图 4 不同分辨率单帧视频平均编码时间概率分布图

处理不同分辨率视频时,使用 TAPCM、传统 DVFS 方法以及无功耗控制时系统功耗的对比结果如图 6 所示,在处理标清视频和红外视频是本文的 TAPCM 方法在控制系统功耗方面具有较好的效果.

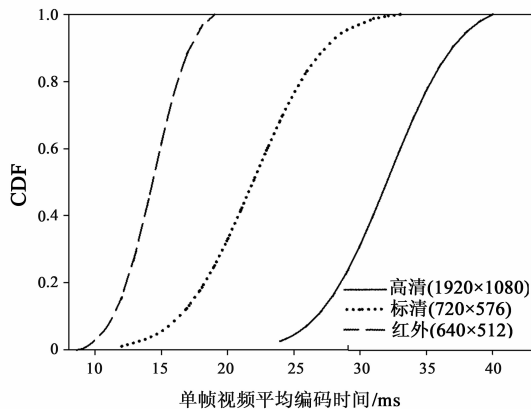


图5 不同分辨率单帧视频平均编码时间累计分布图

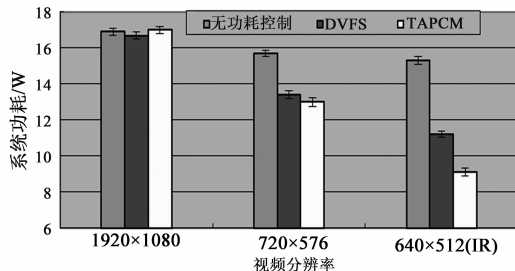


图6 不同分辨率视频编码的平均系统功耗比较

## 4 结论

该文以 C6678 多核 DSP 处理器为硬件平台,针对多模式视频编码任务的处理,提出了一种基于任务量变化的功耗控制方法.针对多模式实时视频编码处理任务的需求变化,动态调节工作频率和工作核数.并且该文的设计不需要改变多核 DSP 的基本体系结构、核间互联结构及片上存储器系统,可广泛地应用于各种同构多核 DSP,还可与其他低功耗优化技术配合使用,具有良好的可移植性和扩展性.

## 参考文献

- [1] 汪鹏君,汪迪生,蒋志迪,张会红.基于 PSGA 算法的 ISFPRM 电路面积与功耗优化[J].电子学报,2013,41(8):1542-1548.  
Wang P J, Wang D S, Jiang Z D, Zhang H H. Area and power optimization of ISFPRM circuits based on PSGA algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(8):1542-1548. (in Chinese)
- [2] Liu Q, Mak T, Zhang T, Niu X, Luk W, Yakovlev A. Power-adaptive computing system design for solar-energy-powered embedded systems[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2015, 23(8):1402-1414.
- [3] Zhang C X, Liu L, Xu W Y, Owall V, Markovic D. A square-root-free matrix decomposition method for energy-efficient least square computation on embedded systems[J]. IEEE Embedded Systems Letters, 2014, 6(4):73-76.
- [4] Hautala I, Boutellier J, Hannuksela J, Silven O. Programmable low-power multicore coprocessor architecture for HEVC/H.265 in-loop filtering[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2015, 25(7):1217-1230.
- [5] Yoo S. An empirical validation of power-performance scaling: DVFS vs multi-core scaling in big LITTLE processor[J]. IEICE Electronics Express, 2015, 12(8):1-7.
- [6] Li S, Broekaert F. Low-power scheduling with DVFS for common RTOS on multicore platforms[A]. ACM SIGBED Review-Special Issue on Embedded Operating System Workshop[C]. New York, USA: ACM Press, 2014. 32-37.
- [7] You D, Chung K. Dynamic voltage and frequency scaling framework for low-power embedded GPUs[J]. Electronics Letters, 2012, 48(21):1333-1334.
- [8] Zhuravlev S, Saez J C, Blagodurov S, Fedorova A, Prieto M. Survey of energy-cognizant scheduling techniques[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, 2013, 24(7):1447-1464.
- [9] Anagnostopoulos I, Chablot J M, Koutras I, Bartzas A, Hemani A, Soudris D. Power-aware dynamic memory management on many-core platforms utilizing DVFS[J]. ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 2013, 13(1):1208-1218.
- [10] Cho S J, Yun S H, Jeon J W. A powersaving DVFS algorithm based on operational intensity for embedded systems[J]. IEICE Electronics Express, 2015, 12(3):1-7.
- [11] Noguez E, Berrada R, Pelcat M, et al. A DVFS based HEVC decoder for energy-efficient software implementation on embedded processors[A]. IEEE International Conference on Multimedia & Expo[C]. Turin, Italy: IEEE, 2015. 1-6.
- [12] Deng Z, Zeng G, Wang W. Energy consumption analysis satisfying time energy probability constraints for modern DVFS microprocessor[J]. IETE Technical Review, 2015, 32(4):260-272.
- [13] Jevtic R, Hanh-Phuc L, Blagojevic M, Bailey S, Asanovic K, Alon E, Nikolic B. Per-core DVFS with switched-capacitor converters for energy efficiency in many-core processors[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2015, 23(4):723-730.
- [14] Igual F D, Ali M, Friedmann A, Stotzer E, Wentz T. Unleashing the high-performance and low-power of multi-core DSPs for general-purpose HPC[A]. Proceedings of

the International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis [ C ]. Los Alamitos, USA; IEEE Computer Society Press, 2012. 53 – 63.

[ 15 ] Chen K, Duan Y, Sun J, Guo Z. Towards efficient wave-

front parallel encoding of HEVC; Parallelism analysis and improvement [ A ]. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing [ C ]. USA; IEEE Computer Society Press, 2014. 1 – 6.

#### 作者简介



**曹倩** 女, 1983 年出生于河北保定. 获北京科技大学工学博士学位, 现于北京工商大学计算机与信息工程学院任研究生导师. 研究方向包含高性能计算与并行计算、智能管理与数据挖掘.



**李辉勇 (通信作者)** 男, 1983 年出生于河北石家庄. 获北京航空航天大学工学博士学位, 现就职于北京航空航天大学计算机学院. 研究方向包含高效嵌入式视频系统开发、移动计算等.

E-mail: lihyit@126.com