



## 文本复制检测报告单(全文标明引文)

ADBD2014R\_2014041810132020140418101358300839402224

检测时间: 2014-04-18 10:13:58

检测文献: XS\_201121210009\_闫佳琪

作者: 闫佳琪

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

互联网资源

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

优先出版文献库

互联网文档资源

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2014-04-18

总文字复制比: 39.9%

去除引用文献复制比: 11.3%

去除本人已发表文献复制比: 11.3%

单篇最大文字复制比: 28.3%

(考虑温度对漏电流功耗影响的MPSoc结构级热分析方法)

重复字数: [15911]

总字数: [39903]

单篇最大重复字数: [11299]

总段落数: [4]

前部重合字数: [4746]

疑似段落最大重合字数: [7780]

疑似段落数: [4]

后部重合字数: [11165]

疑似段落最小重合字数: [916]

跨语言检测结果: 0%

指 标: 剽窃观点

● 自我剽窃

● 一稿多投

● 过度引用

● 整体剽窃

● 重复发表

● 剽窃文字表述

表格: 0

脚注与尾注: 0

45.9% (5666) XS\_201121210009\_闫佳琪\_第1部分 (总12341字)

8.6% (916) XS\_201121210009\_闫佳琪\_第2部分 (总10613字)

69.3% (7780) XS\_201121210009\_闫佳琪\_第3部分 (总11226字)

27.1% (1549) XS\_201121210009\_闫佳琪\_第4部分 (总5723字)



(注释: 无问题部分 文字复制比部分 引用部分)

### 1. XS\_201121210009\_闫佳琪\_第1部分

总字数: 12341

文字复制比: 45.9% (5666) (0)

1	全国优秀教育硕士专业学位论文 - 豆丁网 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://www.docin.com">http://www.docin.com</a> )》 - 2013-02-17	32.8%
2	全国优秀教育硕士专业学位论文 - 豆丁网 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://www.docin.com">http://www.docin.com</a> )》 - 2013-02-17	32.7%
3	考虑温度对漏电流功耗影响的MPSoc结构级热分析方法 闫佳琪; 骆祖莹; 唐亮; 赵国兴; - 《计算机辅助设计与图形学学报》 - 2013-11-15	9.5%
4	学位论文模板-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> )》 - 2012-11-19	3.9%
5	2型糖尿病合并抑郁的影响因素研究 赵书亮(导师: 田东华) - 《北京师范大学博士论文》 - 2012-12-01	3.8%
6	完美的“罪行”——“意象形态”之分析与批判	3.6%

	胡杨(导师:王宜文) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2005-05-01	是否引证: 否
7	我国上市公司股权融资悖序研究 鹿春江(导师:李由) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2005-05-01	3.6% 是否引证: 否
8	大众文化的时间策略——评大众文化对当代时间危机的应对 钟文伟(导师:胡敏中) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2005-05-01	3.5% 是否引证: 否
9	中等职业学校经济功能实现形式的新探索 王秋(导师:和震) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2010-05-01	3.3% 是否引证: 否
10	山田洋次的平民精神 凤君(导师:王宜文) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
11	从中学世界史课程看中国近百年来世界史观的演变(1) - 论文宝 www.lwbao.com - 《网络( <a href="http://www.lwbao.com">http://www.lwbao.com</a> )》 - 2010-05-22	3.3% 是否引证: 否
12	中国高职高专院校发展困境的制度研究 李会春(导师:刘慧珍) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
13	毛奇龄“诗”学研究 薛立芳(导师:晁福林) - 《北京师范大学博士论文》 - 2008-03-01	3.3% 是否引证: 否
14	布尔迪厄的科学建构论研究 高桦楠(导师:刘孝廷) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-06-01	3.3% 是否引证: 否
15	股权分置与公司绩效关系研究 李文明(导师:高明华) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
16	内蒙古科尔沁地区萨满舞蹈研究 莎日娜(导师:金秋) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-06-01	3.3% 是否引证: 否
17	可视化技术在教育中的应用 顾培蒂(导师:骆岩林) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
18	权重分布对网络效率的影响 田柳(导师:狄增如) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
19	物体视觉记忆的背景效应及其位置特效性 田宏杰(导师:申继亮) - 《北京师范大学博士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
20	从特纳到莫雷尔:1862年美国赠地学院法案的起源与发展研究 崔高鹏(导师:郭法奇) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
21	化学反应网络建网方式及统计性质初探 王博川(导师:狄增如) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2008-05-01	3.3% 是否引证: 否
22	乡村·土地·母亲·恋人 焦仕刚(导师:沈庆利) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2005-05-01	3.2% 是否引证: 否
23	关于日本暴力电影的读解与思考 冷红霞(导师:王宜文) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2005-05-01	3.2% 是否引证: 否
24	[转载]北京师范大学学位论文的编写规则_清平乐 - 《网络( <a href="http://blog.sina.com">http://blog.sina.com</a> )》 - 2012-12-19	3.2% 是否引证: 否
25	中国图书版税制度研究 汤林弟(导师:王德胜) - 《北京师范大学硕士论文》 - 2004-05-01	2.9% 是否引证: 否

#### 原文内容

硕硕硕士士士学学学位位位论论论文文文

论论论文文文题题题目目目: : : 多多多核核核芯芯芯片片片的的的温温温敏敏敏低低低功功功耗耗耗调调调度度度研研研究究究

作作作者者者: : : 闫闫闫佳佳佳琪琪琪

导导导师师师: : : 骆骆骆祖祖祖莹莹莹副副副教教教授授授

系系系别别别年年年级级级: : : 信信信息息息科科科科学学学与与与技技技术术术学学学院院院

学学学号号号: : : 201121210009

学学学学科科科专专专业业业: : : 通通通信信信与与与信信息息息系系系统统统

完完完成成成日日日期期期: : : 2014年年年 4月月月

北北北京京京师师师范师范范大大大学学学研研研究究究生生生院院院

北北北京京京师师师范师范范大大大学学学学学学位位位论论论文文文原原原创创创性性性声声声明明明

本人郑重声明:所呈交的学位论文,是本人在导师的指导下,独立进行研究工作所

取得的成果。除文中已经注明引用的内容外,本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体,均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。



调度算法仍能够获得平均

14.33%

的能耗降低；本文所提出

DPTM

原型系统

可以获得接近于理想的能耗优化效果。

多核片上系统

(MPSoC)

的低功耗设计与实时功耗温度管理

(DPTM)

是目前较为热点的

研究问题。本文采用了一种自下而上的建模方法，对

MPSoC

结构级热分析方法进行了研

究，提出了三种具有不同算法复杂度与精度的热分析方法：模块级方法

BlotAM

、核级

方法

CorTAM

、考虑本核内模块相互影响的改良核级方法

BiCorTAM

。这三种算法均具有

简单、高效、与现有简化模型兼容、易于扩展、能够解决温度对漏电流的影响等优点。

实验数据表明：对核数较多

MPSoC

进行热分析的时候，

CorTAM

算法的复杂度低但精度

也低，

BlotAM

算法的精度高但复杂度也高，而

BiCorTAM

则具有算法复杂度低和精度高

的优点，其中局部热点的温度增量平均误差可以控制在

3%

以下，热分析的速度实现了

近

50

倍以上的分析加速，两者均是较为理想的结构级热分析方法

；

采用

BiCorTM

等增量式

的热分析建模方法，可以快速进行用于降低热点温度的

MPSoC

布图规划过程。

I

关键词：实时功耗管理；实时温度管理；任务调度；热分析；多核片上系统；体系结构级分析

II

On Temperature and Power Management for MPSoC

ABSTRACT

To tackle the Power Wall problem on high performance chip processors oriented for heavy-

load applications and continue Moore’ s Rule, Dynamic Power and Temperature Management (DPTM) and Multi-chip Processor Architecture are adopted in the field of Integrated Circuits (IC) design.

Optimal DPTM methods can effectively cut down the soaring power consumption and alleviate the problem of chip temperature. In order to get better scheduling results, this paper mainly accomplish three things. First, with principles derived from analyzing three previous methods as thumb rules, we obtain an improved DPTM algorithm, named VP-TALK, that carefully schedule the processor’ s running and dormant behaviors. Besides, we propose a combined predicting model. It may predict the workload on the chip so as to draw out optimal but unpractical frequency (F) and voltage (V). This F & V pair decides two distinct pairs of F & V, with which VP-TALK schedules the processor according to both the core temperature and remaindering work load. Finally, combining the workload prediction method and four DPTM algorithms, we further build a DPTM control system. Even though our model assume a tighter and more sensitive relationship between energy and temperature, experiments show that: 1) the workload prediction’ s error is as less as 2.89%; 2) under even more tough assumptions about thermal and power interrelation and the same peak temperature ceiling value, our proposed DPTM algorithm gains averagely 14.33% energy saving comparing to previous algorithms when the workload ratio is comparatively high; 3) comprehensive DPTM control system’ s managing effect is near to the most ideal one. Efficient thermal analysis plays a key role in the temperature-aware floorplan design for MultiProcessor System-on-Chip (MPSoC) and DPTM. This paper adopts bottom-up modeling method to study architecture-level MPSoC thermal analysis method. First extract relative thermal resistance between functional modules with HotSpot software, then, based on these parameters, we propose three analysis methods with different accuracy and algorithm complexity: Block-level Temperature Analysis Method (BloTAM), Core-level Temperature Analysis Method (CorTAM)

III

and *Block Improved Core Temperature Analysis Method (BiCorTAM)*. Experiment shows that BloTAM and BiCorTAM substantially reduce the time for MPSoC thermal analysis with guarantee of accuracy: speedup as high as 100 times is achieved with average temperature delta error as low as 3%. Both are ideal system-level analysis method.

KEY WORDS: Dynamic Power Management, Dynamic Temperature Management, Task Scheduling, Thermal Analysis, MPSoC, Architecture Level

IV

目录  
摘要

.....

.....

I  
ABSTRACT  
.....  
..... III  
插图索引  
.....  
.....

VII  
表格索引  
.....  
.....

VIII  
1  
引言  
.....  
.....

1.1  
研究背景与相关科学问题

1  
1.2  
已有研究成果及其缺陷

1  
1.3  
本文工作及其贡献

2  
1.4  
文章结构安排

3  
2  
基于任务精确预测的实时功耗温度管理

4  
2.1  
实时系统的工作负载模型

4  
2.2  
实时系统的热分析模型

4  
2.3  
实时系统的功耗分析模型

4  
2.4  
  
已有的  
DPTM  
调度算法

5  
2.4.1 TALK  
算法

5  
2.4.2 Pattern-Based

算法（简称

PB

算法） . . . . .

5

2.4.3 M-Oscillating

算法（简称

M0

算法） . . . . .

6

2.4.4

对已有算法的评估

. . . . .  
. . . . .

6

2.5

基于电压预测的

TALK

算法:

VP-TALK . . . . .

7

2.6 DPTM

原型系统

. . . . .  
. . . . .

8

2.6.1

启发性示例

. . . . .  
. . . . .

8

2.6.2

基于机器学习

DPTM

原型系统

. . . . .  
. . . . .

9

2.6.3

基于单一调度策略的

DPTM

原型系统 . . . . .

11

3 DPTM

原型系统模拟实验

. . . . .  
. . . . .

12

3.1

模拟实验环境

. . . . .  
. . . . .

12

3.2 VP-TALK

算法的





• •	23
4.2.2	
核级热	<u>分析方法</u>
CorTAM	
• • • • •	
• • •	25
4.2.3	
考虑核内模块相互影响的改良核级热	<u>分析方法</u>
BiCorTAM	• • • • • 26
5 MPSoC	
结构级热	<u>分析的实验数据与分析</u>
• • • • •	
27	
5.1	
实验平台与测例说明	
• • • • •	
• • • • •	
27	
5.2	
方法	<u>分析精度的实验数据与分析</u>
• • • • •	
•	
27	
5.3	
本文方法计算速度的	<u>实验数据与分析</u>
• • • • •	
31	
5.4	
小结	
• • • • •	
• • • • •	
31	
6	
总结	
• • • • •	
• • • • •	
33	
参考文献	
• • • • •	
• • • • •	
35	
学术成果	
• • • • •	
• • • • •	
38	
致谢	
• • • • •	
• • • • •	
39	
VI	
插图索引	
图	
2.1	<u>VP-TALK</u>

7

图

2.2

不同负载率下已有调度算法的能耗比较

9

图

2.3

不同负载率下已有调度算法的温度比较

10

图

3.1

能耗比较

13

图

3.2

峰值温度比较

13

图

3.3 DPTM

原型系统

VS

源算法均值（能耗）

15

图

3.4 DPTM

原型系统

VS

源算法均值（峰值温度）

15

图

3.5 DPTM

原型系统

VS

理想效果（能耗）

16

图

3.6 DPTM

原型系统

VS

理想效果（峰值温度）

16

图

#### 4.1 Alpha21264

芯片的物理布局

20

图

#### 4.2 IC

热分析的

HotSpot

分析模型

21

图

#### 4.3 Alpha21264

芯片的温度分布

22

图

#### 4.4

考虑电热耦合效应的多核芯片最高温度与静态功耗的迭代求解

23

图

#### 4.5

多核

DPTM

的单模块与单核热分析等效简化模型

25

图

#### 5.1

测例

1

各功能模块的静态功耗分析误差

30

图

#### 5.2

测例

1

各功能模块温度的分析误差

30

VII

表格索引

表

2.1 A

,

B

,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\mu$ ,  $\eta$  的取值

5

表  
3.1 VP-TALK  
相对于已有算法的节能情况

14  
表  
5.1  
本文测例各功能模块的面积与功耗参数设定

29  
表  
5.2  
多核芯片核内局部热点的温度分析精度对比

29  
表  
5.3  
多核芯片各核静态功耗的分析精度对比

30  
表  
5.4 1000  
次热分析的各个算法耗时及其加速倍数

X  
对比

31  
VIII  
1  
引言  
1.1

研究背景与相关科学问题

当前，面向复杂应用的高性能片上系统为了规避和减轻功耗墙（Power Wall

）问题  
题  
[1]

，延续摩尔定律

[2]

，采用了两种主要的技术手段。首先，必须在芯片运行中，通过

合理任务调度来降低芯片的运行能耗和峰值工作温度。因此，对芯片进行实时功耗温度管理

(DPTM)

的算法研究就具有重要的理论意义与广阔的应用前景，是目前电子设计自动化

(EDA)

研究的一个热点问题。最初为了降低芯片运行功耗、延长设备电池的使用寿命，研究人员提出了运用动态电压调节技术（

DVS

）对系统动态功耗进行实时功耗管理

（

DPM

）

[3 - 6]

。然而，随着

IC

进入纳米工艺，漏电流静态功耗已经超过动态功耗，成为芯片功耗的主要来源，而且漏电流和工作温度之间存在指数关系

[7 - 9]

，如对于

65nm

工

艺，当温度从

60

摄氏度增加到

80

摄氏度，芯片漏电流会增加

21%

。其次，目前

IC

业界已经

普遍采用多核并行计算结构来提升芯片性能（通量）、降低设计复杂度。采用多核并行计算架构的多核片上系统

(MPSoC)

带来了热点分散的问题，即每个核都会产生一个局部热

点

[10]

。为了将

MPSoC

多个热点的温度控制在一个安全阈值内，必须在设计与运行阶段，

以功能模块与处理器核为单位，对芯片的功耗分布

[11 - 13]

与任务调度

[14 - 16]

进行优化，

为此需要在结构级对芯片进行快速准确的热分析

[13, 14, 17]

。鉴于纳米工艺

CMOS

器件的

漏电流随着工作温度的升高而指数增加，漏电流功耗与温度之间存在直接的依赖关系，

即电热耦合效应

[14]

。为了提高分析的精度，必须在结构级热分析方法研究中考虑电热耦

合效应

[14 - 16]

。

1.2

已有研究成果及其缺陷

针对任务调度领域，研究人员开始针对微处理器和大型服务器系统进行实时温度管理（

DTM

）

[18 - 20]

。为了对片上系统进行功耗、温度的统一调度与管理，最近开始出现了实时功耗温度管理

(DPTM)

的研究报道

[21 - 24]

，在考虑漏电流、温度相互作用关系和实

时任务的时间限制这两个前提下，采用不同的

DPTM

策略来达到最小化运行能耗的目的。

在

DPTM

研究中，为了提高

DPTM

系统的降温降耗效果，必须对系统的任务负载进行精确

的预测，事实上，任务负载的轻重决定了不同方法的

DPTM

效果。对于多核芯片的热分

1

1

引言

析，受惠于电热分析的相似性，可以采用有限差分方法  
(PDF)

可以进行全芯片三维热分  
析，获得温度分布的精确解

[25]

；为了考虑温度对功耗的影响，可以采用迭代方法来逼  
近最后的精确解

[26]

。基于

PDF

求解的

HotSpot

是目前广泛采用的热分析工具软件，能够用  
于

MPSoC

的结构级热分析，也能够对电热耦合效应进行求解

[26]

。尽管

PDF

方法可以获得

高精度的求解方案，但这类方法的算法复杂度非常高，不满足

MPSoC

布图规划和实时功

耗温度管理对结构级快速求解的需求

[13, 17]

。为了对结构级设计的温度分布进行快速求  
解，出现过多种加速算法

[10, 11, 14, 15, 17]

。文献

[11]

采用最简单的物理距离模型，速度速  
度最快、精度最差，无法进行精确的

MPSoC

温度求解。文献

[10, 14, 15]

省略了核间的侧向

热阻、来简化温度求解，其优点是速度快，缺点是降低了求解的精度。文献

[27]

采用基于

学习的自回归算法进行在线温度分析，提高热分析速度的同时、也降低了求解的精度。

总之，求解加速的代价是降低了求解的精度。为了考虑温度对功耗的影响（

LDT

），精确

的求解算法必须采用迭代的方法进行逼近求解

[13]

。在现有结构级热分析算法中，为了提

高求解速度，文献

[10]

没有考虑

LDT

，文献

[15]

采用线性模型来拟合

LDT

，文献

[14, 16]

采

用分段拟合系数矩阵来求解

LDP

效应，其结果会带来求解精度不同程度的降低。

1.3

本文工作及其贡献

为了弥补上文指出的已有研究的不足之处，本文对温度敏感的实时功耗调度和多核芯片的热分析方法这两个不同领域，分别做了较为深入的研究，并取得了如下成果。首先，为了构建一个高效的

DPTM

系统，本文不仅提出了一种具有高精度的组合式任务预测方法，而且还提出一种新的

DPTM

任务调度算法

VP-TALK

，并进一步集成了一个基于

负载预测的

DPTM

原型系统，该系统主要包括工作负载预测、任务实时调度两大模块。

(1)

基于组合任务预测方法的负载预测模块：根据频率范围，先将对应于复杂应用的任务分为随机/周期/趋势三种组分，然后采用灰色模型/傅里叶模型/RBF神经网络模型分别对这三种组分进行精确分析，最后将三部分预测结果合成为复杂任务的预测值。

(2)

基于

多种调度算法的实时调度模块：先根据对工作负载率的精确预测值、计算出最优工作状态的电压/频率理想值，再从系统的电压/频率对的实际设定值中选取相邻的两个工作状态，最后考虑系统实时性、温度上限限制、静态功耗与温度的敏感关系以及芯片模式切换代价等多种因素，利用机器学习的方法，选择一种最优的调度策略。大量的模拟实验表明，

(1)

在负载预测方面，本文

DPTM

系统所采用的组合任务预测方法胜过众多的相关模型及算法，平均误差仅为2.89%；

(2)

在节能效果方面，当负载率高于55%时，基于相同的峰值温度约束，本文所提出的VP-TALK算法分别比Pattern-based、M-oscillating和TALK对21引言比算法节能约20.5%、11.0%、11.5%；

(3)

本文DPTM原型系统的调度效果接近于理想调度效果。

指 标
剽窃文字表述
1. 原创创新性性性声声明明 本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。 学位论文作者签名： 日期： 年月日 关于关于于论论文文使使用用授授权权的的说说明明 学位论文作者完全了解北京师范大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京师范大学。 2. <input type="checkbox"/> 保密论文注释：经本人申请，学校批准，本学位论文定为保密论文，密级： ，期限： 年自年月日起至年月日止，解密后适用本授权书。 <input type="checkbox"/> 非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。 本人签名： 日期： 导师签名： 日期：
2. XS_201121210009_闫佳琪_第2部分
文字复制比： 8.6% (916) (0)
总字数： 10613



原文内容

其次, 本文采用自下而上的策略, 使用  
HotSpot  
提取  
MPSoC  
功能模块之间的热  
相关系数, 建立了模块级热分析方法  
BloTAM  
; 如图  
2  
所示, 每个核内只产生一个热点,  
我们可以仅依靠热点之间的热相关系数、建立一个算法复杂度非常低的核级热分析方  
法  
CorTAM  
; 为了提高  
CorTAM  
的精度, 我们进一步提出了考虑本核内模块相互影响的改  
良核级方法  
BiCorTAM  
。与现有的结构级热分析算法相比, 本文所提出的三种方法均具  
有简单、高效、与现有简化模型兼容、易于扩展、考虑  
LDT  
影响等优点, 可以满足温  
敏  
MPSoC  
设计对高效、精确的结构级热分析方法的需求。与  
HotSpot  
软件的实验结果相  
比, 本文方法的实验数据表明:  
(1)  
对核数较多  
MPSoC  
进行局部热点温度分析的时候,  
BloTAM  
和  
BiCorTAM  
只产生  
2%  
、  
3%  
以下的温度增量平均误差, 是高精度的结构级热分析  
方法。  
(2)  
在采用电压频率调节的温敏  
16  
核  
CPU  
布图规划研究中, 在包含参数提取时间的  
情况下,  
BloTAM  
和

BiCorTAM

可以提供

50

倍左右的计算加速。

(3)

从总体效果来看，在本

文所提出三种建模分析方法中，

B1oTAM

和

BiCorTAM

方法可以提供满意的分析精度与计

算加速，是较为理想的

MPSoC

结构级热分析方法。

1.4

文章结构安排

文章结构安排如下：第二章介绍基于高精度组合式任务预测方法的

DPTM

原型系统，

研究对象仅限于单一处理器。第四章给出大量模拟实验数据，以证实该调度系统在降低功耗和温敏控制上的优越性。第四章将研究对象扩展为多核处理器，提出三种结构级热分析方法。为衡量这三种热分析计算模型的精确度与加速效果，第五章中设计了若干实验测例，并给出了模拟热分析结果。最后一章对全文作出总结。

3

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

2.1

实时系统的工作负载模型

本文讨论的实时系统的工作负载模型具有简单地结构。系统会周期性地分配一段时间

D

，某一任务的必须在该截止时间以前完成。该任务在最坏情况下所需要的执行时间为

W

。本文中假设任务的截止时间等于系统周期性分配的时间片，并且等价地只考虑一个周期内任务的执行情况。根据任务的性质，

[28]

与

[29]

等文献研究了如何估计

(D

,

W)

数据

对的值。本文中我们认为工作负荷是发送至实时系统的网络流量的归一化形式。

2.2

实时系统的热分析模型

为了研究处理器内核

(Die)

的热传导特性，文献

[4, 29, 30]

等都广泛采用了等效

RC

电路

方法进行热分析，并采用式

2-1

进行内核工作温度的分析

$dT$

$dt$

$=$

$P$

$C$

$T_{th}$

$T_{amb}$

$R_{th}$

$C_{th}$

$T_{th}$

$C_{th}$

$T_{th}$

$= \alpha P + \beta (T_{th} - T_{amb})$

$T_{th}$

$T_{amb}$

$T_{th}$

$T_{amb}$

$T_{th}$

$T_{amb}$

$T_{th}$

$T_{amb}$

$T_{th}$

分别代表芯片的温度与环境温度，

$P$

代表芯片在时刻

$t$

的功耗，

$R_{th}$

$C_{th}$

$T_{th}$

$T_{amb}$

$T_{th}$

$T_{amb}$

别为等效热阻与等效热容。

2.3

实时系统的功耗分析模型

多数处理器拥有两种主要模式，即工作状态和休眠状态：只有在工作状态下处理器

被充足供电，并执行计算任务；否则，处理器将进入休眠状态以减少功耗，同时降低自

身温度。工作状态下的功耗为：

$P_{active}$

$= C V^2 f + N I_{leakage} V$

$C$

$V$

$f$

$N$

$I_{leakage}$

$V$

$V$

$V$

$\frac{dd}{(2-2)}$

式

2-2

中的第一项代表动态功耗，第二项代表静态功耗。当给定供电电压

$V_{dd}$

后，工作频

率

$f$  为

$f =$

$(V_{dd})$

$\frac{dd}{V}$

$\frac{t}{\mu s}$

$(V_{dd})$

$\frac{dd}{T_{max}}$

$\eta$

$\times 4$

$\times 10^{14}$

$\approx C$

1

V

dd

(2-3)

4

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

表

2.1 A

,

B

,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\mu$ ,  $\eta$  的取值

参数

$A$   $B$

$\alpha$   $\beta$   $\gamma$   $\delta$   $\mu$   $\eta$

取值

$1.143E-12$   $1.013E-14$   $466.403$   $-1224.741$   $6.282$   $6.909$   $1.19$  1.20

由于与工作电压成正比，我们可以使用式

2-4

计算动态功耗

P

active

= C

2

V  
3  
dd  
(2-4)  
通过  
HSPICE  
软件进行的曲线拟合，与温度、电压相关的漏电流可写为

$$I_{leakage} = I_0 \exp\left(\frac{\alpha V_{dd}}{T_0}\right) + B \exp\left(\frac{\gamma V_{dd}}{T_0} + \delta\right) \quad (2-5)$$

式  
2-5  
中  
A  
,  
B  
,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\mu$ ,  $\eta$  是经验参数，由芯片的生产工艺参数所决定。本文的模拟实验默认选择采用  
65nm  
的工艺参数，具体参数数值见表  
2.1

。当工作温度  
T  
在  
300K  
到  
380K  
的正常范围变化时，  
 $\exp\left(\frac{\alpha V_{dd}}{T_0}\right)$

1  
T  
)  
的波动变化很小。当给定  
了  
V  
dd  
后，文献

[22]

通过引入两个参考温度

$T_H$

和

$T_L$

进一步将漏电流简化为温度的二次函

数。于是，与漏电流相关的静态功耗可以用式

(2-6)

计算

$P$

leakage

$= N$

gate

(

$AT$

$^2$

+

$B)V$

$dd$

(2-6)

(2-6)

中，

$A =$

$I$

leakage

$(T_H$

,

$V$

$dd$

)  $I$

leakage

$(T_L$

,

$V$

$dd$

)

$T_H$

$^2$

$T_L$

$^2$

,

$B = I$

leakage

$(T_H$

,

$V$

$dd$

)

$AT_L$

$^2$

。此外，处理器在两种工

作状态之间的切换是通过改变工作电压来实现的，状态切换将带来额外的开销，包括能

耗开销

p

r

与延时开销

c

r

[23]

。整体而言，工作状态切换跨度越大（切换电压差越大），其能耗和时间的开销也就越大。

2.4

已有的DPTM调度算法

2.4.1 TALK

算法

TALK

及其改进算法

[21, 31]

根据工作负载和截止时间的不同，来控制不同时间段处理

器的工作/休息状态：当负载量大并且温度较低时、处理器处于激活工作状态；当负载量小并且温度较高时

,

处理器切换到睡眠状态以减小能耗，以降低温度。

2.4.2 Pattern-Based

算法（简称PB算法）

PB

算法将任务的截止时间或者运行周期

D

等分为

n

个时间片段，每段长  $= D/n$ ，采

用

PB

算法的处理器将工作于特定规则的模式中

[22, 31]

：执行  $= D/n$  时间后便切入休眠模

5

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

式，以减少功耗并降低温度。文献

[22]

与

[30]

证明：如果重复这种运行模式足够多次，处

理器将达到温度的平衡值，并进入稳定状态，即每个周期的初始温度和结束温度将趋向于稳定值，以便于分析。

2.4.3 M-Oscillating

算法（简称MO算法）

上面介绍的

TALK

算法和

PB

算法都要求处理器的工作速度要大于或者等于负载

率

W

/

D

。文献

[29]

证明，如果采用两个最接近的速度完成分配给处理器的任务，那么相对于采用其他的工作速度组合，处于该速度组下处理器的温度是最优的。如果进一步地将这种两步策略应用在

m

个时间片中

[31]

，不仅温度可以进一步优化，还可以将

D

时间内的

总功耗表达为

m

的函数，而且必然存在能耗最小化的

m

值

[24]

。由于要考虑电压切换所付出的时间开销和能耗开销，

[24]

给出了

m

所具有确定的上限值

Ceil

。

2.4.4

对已有算法的评估

作为温敏调度算法，

TALK

参照剩余任务量与当前温度、来合理地调度任务。然而，简单的开关模式无法利用

DVS

技术，只能工作在固定速度。而且状态切换所导致的时间、能耗开销也是不可避免的。根据切换时间和能耗开销

[23]

，从全速工作转变为零电压将产生最大的能耗和时间开销。

无论采用

TALK

还是

PB

算法，都要求处理器工作在大于

W

/

D

的速度上。大多数具

有

DVS

或

DVFS

功能的实时系统通常只允许芯片的电压为若干离散值，根据负载率来调整电压工作档。这往往会导致芯片实际上工作高于任务所需的速度，不仅增加了近似与电



压三次方成正比的动态功耗和与电压近似成正比的静态功耗，而且加速了温度的攀升，抬高了平衡态时的温度，进一步导致漏电流近似平方速度的增长。

G. Quan

等

[24]

提出的

MO

算法存在两个主要缺陷。首先，假设功率为温度的线性函数，使得峰值温度较

PB

有很大降低。其次是在实际应用中不能忽略低工作负载率情况：

当

W

/

D

小于处理器支持的最低工作速度时，

MO

只能退化为

PB

，以防止不必要的功耗增

加。

6

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

2.5

基于电压预测的TALK算法：VP-TALK

Compute Optimal

Speed:Scon

Scon<=LS

Select

(0, LS)

Fix M

at 1

Original TALK

Select

(S1, S2)

Set M at

Floor

Executive Time for

S1 & for S2

TALK Supporting

DVFS

M=M+1

M>Ceil

Select the

Optimal M

END

NO

YES

NO

YES

图

2.1 VP-TALK

算法流程

根据我们在

DPTM

领域的研究经验，可以获得如下关于

DPTM

改进的几点经验准则：

1)

必须考虑温度对静态功耗的影响。本文将功耗定为温度的二次函数。在温度限制下，

DPTM

系统最好具有温敏调控功能。

7

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

2)

如果能够准确预测负载量，确定任务所需的工作频率或者工作电压，就可以提前调度，更好的满足实时性。

3)

芯片电压选取。由于工作电压决定了运行速度，应该采用

MO

的电压选取方法，即

使得芯片运行速度刚好满足工作负载的需求，以最大程度地利用

DVFS

技术来降低能

耗。

4)

调度过程中，必须考虑电压切换（状态切换）所带来的额外能耗、时间开销。

基于以上观察，我们提出一种改良后的

TALK

算法，即具有电压选择的

TALK

算法，

本文称为

VP-TALK

，其算法流程图如图

2.1

所示。

与

MO

相似，

VP-TALK

首先需要假设电压可以连续调节、以获得理论上的最优工作

速度

S

con

。在

S

con

$\leq LS$ （芯片最低工作速度）时，VP-TALK等同于原始的TALK算法。

在

S

con

>

LS

时，该算法选用两档邻接的速度

S

1

和

S

2

，使得

S

1

$\leq S$

con

<

S

2

。不同于

M0

的

等分

M

段时间段，

VP-TALK

采用更灵活的、电压可调的温敏

TALK

来对每一小段的工作状

态进行调度。由于

m

的数量由切换工作状态的代价和任务的实时性所限制，其上下限分别

记为

Ceil

和

Floor[24]

。

VP-TALK

的应用前提是假设我们已经通过某种预测的方法预测出

了任务负载量，从而，在任务到达前调度就已经开始，所以认为是实时性的。

## 2.6 DPTM

原型系统

### 2.6.1

启发性示例

在之前的分析中，我们已经指出，较轻工作负载时的

M0

必然要退化至

PB

的方法

·

这

是因为当工作所需电压低于可选的最小电压值时，

M0

中阶梯型工作电压策略无法通过逼

近最优工作电压的方式节省动态功耗。为了探究工作量与最优调度算法之间的关系，我

们设定任务长度为

10

秒，并考虑比文献

[24]

更强的温度对漏电流影响，我们在工作负载率

全区间（

5%-95%

）范围内，对

TALK

、

PB

与

MO

这

3

种已有调度源算法的调度效果进行了

考察。图

2.2

给出了能耗的数据，图

2.3

给出了温度数据。

我们可以得出如下结论：

1)

当工作负载率（

$W$

/

$D$

）低于

50%

（近似值）时，三种源算法的峰值温度低

于

310K

（

37

。

$C$

），峰值温度对系统的性能与可靠性没有影响；在系统能耗方

面，

PB

算法（也即

MO

算法）的调度效果要胜过

TALK

算法，因此，

PB

算法具有最

佳的调度效果。

2)

当工作负载率（

$W$

/

$D$

）处于

50%

—

70%

区段（近似值）时，三种源算法的峰值温度

低于

320K

（

47

。

C

），峰值温度对系统的性能与可靠性也没有影响；在系统能耗方

8

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

图

2.2

不同负载率下已有调度算法的能耗比较

面，

TALK

算法的调度效果要胜过

PB

和

MO

算法，因此，

TALK

算法具有最佳的调度

效果。

3)

当工作负载率（

W

/

D

）大于

70%

（近似值）时，三种源算法的峰值温度高

于

320K

（

47

。

C

），最高可超过

380K

（

107

。

C

），峰值温度对系统的性能与可靠性

具有明显影响，其中

MO

算法具有最低的峰值温度；在系统能耗方面，

MO

算法的调

度效果要明显胜过其它两种源算法，

MO

算法具有最佳的调度效果。

由此可见，最优的

DPTM

调度算法与工作负载率有直接关系。我们将以此关系作为理论基础，用于

DPTM

调度原型系统的构建，即根据对实时系统工作负荷的精确预测结果，来选择效果最佳的调度算法，并对

DPTM

调度效果进行评价。

2.6.2

基于机器学习的DPTM原型系统

根据调度算法性能与工作负载大小相关的观察，我们提出了基于工作负载预测结果来选择

DPTM

调度算法的调度策略，并以此构建了本文的

DPTM

原型系统，整个系统由工作负载预测、调度策略选择和调度策略评价三大模块组成，其具体的架构及其工作原理如图

4

所示。在该系统工作中，其三大模块主要完成如下功能。

9

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理图

2.3

不同负载率下已有调度算法的温度比较

1)

工作负载预测模块：我们根据负载变化周期的长短，提出了一种组合式的负载预测方法，采用多种不同拟合方法来分别对任务的不同物理意义成分进行精确预测，以获得对复杂任务的精确预测；

2)

调度策略选择模块：我们综合考虑实时完成任务、温度上限、能耗最小化、漏电流与温度相关以及芯片模式切换代价等多种因素，选用不同的任务调度策略；

3)

调度策略评价模块：对每种策略的系统能耗与峰值温度进行评价，并将其作为

DPTM

系统的反馈量，供调度策略选择模块参考。

调度策略选择的学习主要通过后期性能评价的评价值完成。假设存在

N

类

DPTM

，编

号为

1

，

2

， . . . . . ，

N

。它们在某一时刻

t

的得分或者权重为，

$$w_{1t}, w_{2t}, \dots, w_{Nt}$$

对其中任一  
个权重分量

可以采用式  
2-7  
进行计算

$$w_{kt} = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \lambda_j E_i}$$

式  
2-7  
中  
 $E_i$   
代表芯片使用第  
 $i$   
类  
DPTM  
在时刻  
 $j$

的负载情况下消耗的能量， $\lambda$

$j$

为一可调整的

参数，代表时刻

$j$

的能耗情况对决策的影响程度，

$t$

0

是可以变动的初始值，它的取值意味

10

2

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

着选取从何时开始的能耗情况作为以后决策的参考。在预测出工作负荷值后，则开始使用

2-8

进行决策：

DPT M

$t$

$= \arg(\max$

$1 \leq k \leq N$

$(w$

$k$

,

$t$

)) (2-8)

式

2-8

中

DPT M

$t$

为

$t$

时刻选择出的动态功耗温度调度策略。考虑到温度上的限制，我们需要

考察所选的调度源算法是否会超过温度上限。如果能耗的节约是在很高的峰值温度的代价下换取的，我们将放弃该源算法，而选择次优的但是有较低峰值温度的调度源算法。

与三种已有源算法和本文提出的

VP-TALK

算法相比，本文

DPTM

系统的主要扩展改进点在

于：具有高精度的任务预测模块，为根据负载量而进行的策略选择提供前提基础；通过基于调度效果评价的机器学习，自适应地根据负载量的轻重选择调度策略。

2.6.3

基于单一调度策略的DPTM原型系统

值得一提的是，如果我们选定某一种调度策略，省略机器学习模块，就构成了基于单一调度策略的

DPTM

原型系统。在该

DPTM

原型系统中，输入量为任务负载的历史值，

通过这些历史值，利用第六节所述的任务负载预测模型，可以得到对于下一时刻任务量的预测值。进而，可以确定完成预测任务值所需要的芯片电压或者频率，并利用上文所述的某一种算法进行调度。不论是基于及其学习的



DPTM

系统，还是基于单一调度策略的

DPTM

系统，都要求提前预知任务负载的大小。因此，本文采用所提出的组合模型预测方法。该方法将复杂任务按频谱长短分类为随机/周期/趋势等三种成分，然后采用灰色模型/傅里叶模型/径向基函数（RBF）神经网络模型对这三种成分进行组合分析，可以得到平均相对误差低于

3%

、归一化方差小于

0.5

的任务负载预测效果

[31]

。

11

3 DPTM

原型系统模拟实验

3.1

模拟实验环境

为了验证本文所提出的预测任务负载模型、

VP-TALK

调度算法以及

DPTM

原型系

统，我们进行了三组模拟实验。实验运行平台为配有 Intel Core 2 Q9550 CPU

、

4GB

RAM

的

Windows7 64

位操作系统，预测模型以及各

DPTM

算法在

MATLAB[32]

软件中进行

仿真模拟。

3.2 VP-TALK

算法的DPTM效果验证

本文通过与现有的

TALK

、

PB

、

MO

算法进行对比，来验证本文提出的

VP-TALK

算法

的优越性。实验中选取

p

r

、

c

r  
取值分别为  
0.001s/V和0.01J/V  
2  
，温度最高上限设为  
390K  
，  
任务周期固定为  
10s  
。支持  
DVFS  
芯片的电压值从  
0.6V  
到  
1.4V  
可调，步长  
0.1V  
。根据电压可  
以得到归一化的速度序列为  
0.574, 0.6611, 0.7324, 0.7926, 0.8446, 0.8901, 0.930, 0.9670, 1  
。  
任务负载率为  
5%  
至  
95%  
，变化步长为  
5%  
。对于  
4  
种对比算法，我们分别将能耗情况（单  
位为焦耳  
J  
）和峰值温度情况（单位为绝对温度  
K  
）绘制于图  
3.1  
和图  
3.2  
。  
12  
3 DPTM  
原型系统模拟实验  
图  
3.1  
能耗比较  
图  
3.2  
峰值温度比较  
从图  
3.1  
可以看出，对于能耗：当负载率小于  
55%  
时，

VP-TALK

优

于

TALK

、

PB

与

MO

等价。这是因为，在负载率不高于芯片最低运行速度（

0.574

）

13

3 DPTM

原型系统模拟实验

表

3.1 VP-TALK

相对于已有算法的节能情况

算法

PB MO TALK Avg

平均

(%) 20.54 11.04 11.42 14.33

最大

(%) 28.83 22.34 21.27 24.68

时，

VP-TALK

相当于使用

DVS

技术的

TALK

，

PB

相当于使用单一速度的

MO

。此

时，

TALK

与

PB

的调度效果相差无几。在负载率为

25%

到

50%

时，

PB

略优于

VP-TALK

算

法。原因是

VP-TALK

在电压和时间切换上付出了更大的代价。然而，随着负载率的增

加，当负载率大于

55%

时，

VP-TALK

的调度效果全面优于其他三种算法，比

PB

、

MO

以

及

TALK

的平均能耗分别节省大约

20.54%

、

11.04%

、

11.42%

。表

3.1

列出了当负载率大

于

55%

时，能耗节省数据的统计信息，具体说明了

VP-TALK

的在能耗节约方面的优势。

从图

3.2

中可以看出，当工作负载率小于

50%

时，各种算法所达到的峰值温度都不超

过

310K

，四种调度算法在峰值温度方面的差距基本小于

1K

，并在最大负载率时近似共同

终结于

384K

。

3.3

基于机器学习的DPTM原型系统的验证

为了评价本文基于机器学习的

DPTM

原型系统功耗与温度的调度效果，我们做了两组

实验。首先，基于

[31]

中所得到的每个时刻工作负载预测值，我们分别采用四种对比源算

法，即

TALK[21]

、

PB[22]

、

MO[24]

，

VP-TALK

，算出每个时刻每种算法的能耗值与峰值

温度；然后将四种对比源算法每个时刻的能耗值与峰值温度进行平均，得到四种对比源

算法每个时刻的平均调度效果；最后使用图

3.3

与图

3.4

分别比较了本文原型系统与四种对比源算法平均调度效果的能耗（单位

J

）和峰值温度（单位

。

C

）。

14

3 DPTM

原型系统模拟实验

图

3.3 DPTM

原型系统

VS

源算法均值（能耗）

图

3.4 DPTM

原型系统

VS

源算法均值（峰值温度）

15

3 DPTM

原型系统模拟实验

图

3.5 DPTM

原型系统

VS

理想效果（能耗）

图

3.6 DPTM

原型系统

VS

理想效果（峰值温度）

其次，同样基于

[31]

中所得到的每个时刻工作负载真实值，采用四种源算法，分别算出每个时刻的能耗值与峰值温度，取其中的最优值作为

DPTM

调度的理想值；然后使用

16

3 DPTM

原型系统模拟实验

这批理想值来客观评价集成了

TALK

、

PB

、

MO

以及

VP-TALK

算法的

DPTM

原型系统的调

度效果；最后使用图

3.5

与图

3.6

分别比较了本文原型系统与四种对比源算法理论最优调度

效果的能耗（单位

J

）和峰值温度（单位

。

C

）。从图

3.3

与图

3.4

可以直观地看出：与四种

源算法平均调度效果相比，本文原型系统择优式的组合

DPTM

算法可以明显拉低实时系

统的运行能耗曲线和峰值温度曲线，这表明对比于四种

DPTM

源算法，本文基于机器学习

习的

DPTM

原型系统获得了

”

取其长、去其短

”

的优化效果。同时从表

3

的比较数据可以得

出

”

本文原型系统可以获得近似最优的调度效果

”

的结论，其实验依据如下：

1)

与四种

DPTM

源算法的平均效果相比（图

3.3

），本文原型系统采用的择优式

组合

DPTM

算法可获得更优的能耗优化效果，所有时间采样点能耗的累加

值


E

T OT AL

（总能耗）可获得

18.39%

的改进，所有时间采样点中的最大值  
E  
MAX  
（最大  
能耗）可获得  
18.77%  
的改进。整体改进效果非常明显。  
2)  
与四种  
DPTM  
源算法相比（图  
3.4  
），本文原型系统可以获得更优的峰值温度优化效  
果，所有时间采样点中的最大峰值温度  
T  
PMAX  
是最优，所有时间采样点峰值温度的  
平均值  
T  
PAVG  
是比算法均值稍弱。

3. XS_201121210009_闫佳琪_第3部分		总字数：11226
文字复制比：69.3%（7780）  (0)		
1	考虑温度对漏电流功耗影响的MPSoC结构级热分析方法 闫佳琪;骆祖莹;唐亮;赵国兴; - 《计算机辅助设计与图形学学报》- 2013-11-15	69.3% 是否引证：是
原文内容		
与四种 DPTM 源算法调度效果平均值相比，本文原 型系统可以获得 T PMAX 1.81 。 C 的改进，但 T PAVG 有 -1.31 。 C 的退化。从拉低最大峰值温 度的角度来讲，改进效果较为明显。 3) 通过图 3.5 与图 3.6 对本文原型系统的调度效果与理想值进行的直观比较，看 出本文原型系统可以获得比四种源算法均值更接近于理想值的优化效果。		

与表

3

中理想值的

E

TOTAL

/

E

MAX

/

T

PAVG

/

T

PMAX

参数相比，四种

DPTM

源算法调度效

果平均值会产生

28.64%/30.09%/7.71

。

C/9.73

。

C

的差距，而本文原型系统只产生

了

12.55%/13.93%/9.02

。

C/7.91

。

C

差距。

3.4

小结

第

2

章深入分析与评估了已有的主流调度算法，提出了一系列调度准则和经验。基于这些对芯片工作休眠状态调度的经验准则，我们提出一种在能耗节省方面更具优势的

DPTM

调度算法

VP-TALK

，以此算法为基础，综合本文所提出的预测任务负载模型，构建了一个基于负载预测的

DPTM

系统。本章中的仿真实验表明，

1)

本文的组合模型在负载预测方面胜过众多的相关模型及算法，平均误差仅为

2.89%

；

2)

本文所提出的

VP-TALK



算法在较高的工作负载率和共同的峰值温度约束下，分别比

Pattern-Based

、

M-Oscillating

、

TALK

分别节能

20.54%

、

11.04%

、

11.42%

；

17

3 DPTM

原型系统模拟实验

3)

本文所提出的综合四种源算法、基于机器学习的

DPTM

原型系统较为接近理想值，

与其

E

T OT AL

/

E

MAX

/

T

PAVG

/

T

PMAX

参数相比，只产生了

12.55%/13.93%/9.02

。

C/7.91

。

C

差

距。

18

4

考虑温度对漏电流功耗影响的MPSoC结构级热分析方法

4.1

多核芯片热分析 研究基础

4.1.1

多核架构及其电热分布

目前多核

CPU

普遍采用同质架构。即每个核心（

core

）拥有相同的逻辑功能模块

(  
computing unit  
)、容量相同的专享缓存  
(exclusive cache)  
, 占有相同的内核面积, 同时共  
享最后一级缓存  
(last level cache, LLC)  
缓存、

I/O等功能模块。每个核心具有相同数量的工  
作模式, 不同的工作模式意味着消耗不同程度的能量。一般来说, 每个核心除具有一个  
全速高能模式外, 还具有多种耗能程度不同的节能模式。在每个核心内, 逻辑功能模块  
具有最大的功耗密度, 该功能模块对应的指令

L1  
缓存和数据

L1  
缓存功耗密度次之,

L2  
缓  
存具有的功耗密度相较而言最小。由于注入的热量, 每个核的热点(温度最高点)出  
现在逻辑功能模块, 所以在物理设计中, 一般要将逻辑功能模块布放在散热条件好的芯  
片边沿处, 而散热条件最差的芯片中央布放功耗密度最小的

LLC  
, 从而降低芯片的热点温  
度。图

4.1  
为  
Alpha 21264  
芯片的物理布局  
[33]

,  
19  
4  
考虑温度对漏电流功耗影响的  
MPSoC

结构级热分析方法  
图

4.1 Alpha21264  
芯片的物理布局

4.1.2  
芯片热分析及HotSpot模块级模型

在  
MPSoC

结构级热分析中, 一般采用已有的电热等效模型, 分析稳态温度分布, 以  
降低计算复杂度  
[7, 8]

。对于稳态热分析而言, 将芯片的功耗分布作为注入的热流向量P,  
对芯片的物理结构进行离散化建模后

2.  
可以获得节点之间的热导矩阵G, 目前多采用如下  
的稳态热分析方程计算节点温度分布向量T:

$$G \times T = P \quad (4-1)$$

20  
4

考虑温度对漏电流功耗影响的

MPSoC

结构级热分析方法

对于多核实时功耗温度管理

(dynamic power and temperature management, DPTM)

研究

[13,

34]

, 目前广泛采用

Skadron

等人提出的

HotSpot

热分析模型(软件)

[33]

构建热导矩阵G,

并采用式

4-1

进行计算。

HotSpot

采用基于等效热导的电路模型, 将体系结构级的功能模

块作为分析热点的对象。除了模块级别的热分析模型,

HotSpot

仍然提供了更为复杂的网

格级(

grid mode

) 热分析模型与方法。本文所指的

HotSpot

模型及其计算结果均指模块模

式(

block mode

) 的热分析模型与结果。一种直观的对应该芯片以及热封装的物理结构的具

体建模例子如图

4.2

所示

[14]

。电路模型在垂直热传导方向上有

3

层: 内核(

die

) 层、扩

热(

heat spreader

) 层、与散热片(

heatsink

) 层, 另外加入第

4

层热对流(

heat convector

)

层, 即与环境温度的接口。内核层根据芯片的几何布局被分为块; 扩热层分为

5

块: 与

内核层完好对应的

R

s

p

以及

4

块呈梯形状的环境块；散热片层按照与扩热层相似的划分方法，分为

R

h

s

以及

4

个环绕块；最后，从热封装到外界环境的热对流层由

R

c

onvection

表示。

层与层之间模型刻画由内核直至封装及外界环境的热流；层内水平模型刻画相邻模块间的热扩散。内核层产生的功耗等效为每个模块中心的电流源。建模完成后，通过电路分析可得到芯片的温度分布。用

HotSpot

计算分析

Alpha 21264

芯片的温度分布如图

4.3

所示。

图

4.2 IC

热分析的

HotSpot

分析模型

21

4

考虑温度对漏电流功耗影响的

MPSoC

结构级热分析方法

图

4.3 Alpha21264

芯片的温度分布

4.1.3

电热耦合效应：温度对漏电流功耗的影响

正如

2.3

节中，式

2-4

、式

2-6

所定性与定量地描述那样，芯片功耗由动态功

耗

P

dynamic

与静态功耗

P

leakage

两部分组成，随着工艺的提高，

P

leakage

已成为芯片功耗的

主要贡献者。而工作温度

T

的升高可以明显增大

P

leakage

，此现象称之为电热耦合效应。

考虑电热耦合效应的热分析过程中，需要对

T P采用迭代计算。如4.4所示，对于一

个

16

核

CPU

的测例（具体的实验参数设置见第

5

章），采用迭代算法来逼近最终的精确

解，与不考虑电热耦合效应的初始解相比，芯片最高温度与静态功耗都有了明显的增

加，这表明在芯片的温度分析中、必须考虑温度对静态功耗的影响，否则，将会产生较

大的分析误差。同时，与不考虑电热耦合效应的温度分析算法相比，由于考虑电热耦合

效应的温度分析算法需要采用

7

次迭代计算才能获得精确解，所以其算法复杂度是对比算

22

4

考虑温度对漏电流功耗影响的

MPSoC

结构级热分析方法

法的

7

倍；因此降低考虑电热耦合效应的温度分析算法复杂度就具有非常重要的研究意义

图

4.4

考虑电热耦合效应的多核芯片最高温度与静态功耗的迭代求解

4.2.3

种MPSoC结构级热分析方法

4.2.1

模块级热分析方法BlotAM

为了对功能模块进行热分析建模，按照式

4.2

对

HotSpot

的多核芯片热分析模型，采用

等效电路的方法对其进行进一步简化，为此本文假设：每个功能模块内的功耗与温度分

布是均匀的，以该模块中心点的温度作为该模块的温度，并将功耗密度乘以面积作为该

模块的功耗，加于模块中心点。在本文工作中，将模块

i

的功耗

P

i

*i*

---

*i*

$\overline{P}$

1-

1

,

*i*

用

## 模拟哭丧

 $\overline{T}$ 

11

J

‘

*i*
$$\overline{T}$$

—

1

2

*i*

T

1.

1

,

i

23

考

ME

山

*i*
$$\frac{H}{D}$$

1

‘

*i*

—

$$\frac{x}{D}$$

1

‘

*i*

—

—

—  
T

1

*i*

,

- *i*
$$\frac{1}{D}$$

P

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

(4-2)

再根据等效热阻

$\frac{R}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

以及模块

$\frac{j}{i}$

功耗

$\frac{P}{j}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

的阶跃激励作为单一注入热源所得到的

T

i

,

j

, 可以采

用式

4-3

计算出反映

P

j

,

j

对模块

i

温度作用关系的等效热阻

$\frac{R}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

$\frac{j}{i}$

(4-3)

最后根据所获得的参数

$\frac{R}{i}$

$\frac{j}{i}$





$$\frac{P_i}{R_i} = \frac{P_j}{R_j} = R_i \quad (4-4)$$

因此，按照图

#### 4.5

中所给出的单模块温度分析模型，可以列出如下热分析表达式：

$$\frac{T_i}{R_i} = \frac{T_j}{R_j} = R_i \quad (4-5)$$

其中

$N$  为多核芯片中的功能模块数目，

$$\frac{P_i}{R_i} = R_i$$

$\sum$

$j=1$

$P$

$i$

$j$

$j$

为模块

$i$

的等效热源，由于一个模块只有

一个等效热源，可见式

4-5

提供的单模块热分析模型兼容了经典的单核（单模块）热分析

模型

[16]

。从式

4-5

可知：

BlotAM

方法的算法时间复杂度与空间复杂度均为

$O(N^2)$

)

)

，即算

法复杂度为

$O(N^2)$

)

)

。

24

4

考虑温度对漏电流功耗影响的

MPSoC

结构级热分析方法

图

4.5

多核

DPTM

的单模块与单核热分析等效简化模型

4.2.2

核级热分析方法CorTAM

为了对处理器核进行热分析建模，可以基于图

4.2

中

HotSpot

的多核芯片热分析模型，

采用等效电路的方法对其进行进一步简化，为此，进行如下的假设：

1)

在处理器核多个功能模块中，逻辑模块（包括

ALU

等器件）产生最高的工作温度，

将逻辑模块的温度作为处理器核的温度。

2)

为了对其他核产生影响，将处理器核中所有功能模块的功耗加到逻辑模块中心。

3)

为了计算温度对漏电流功耗的影响，将逻辑模块的静

-

动态功耗比例、作为处理器核

中所有功能模块的静

-

动态功耗比例，也就是：随着工作温度的变化，变的是静

-

动

态功耗比例，不变的是核内所有模块功耗的比例。

基于如上假设，将核

p

内的所有模块均加上符合核内功耗比例要求的阶跃激励，其他

核均不加激励，则可以使用

HotSpot

模拟器获得所有核的温度

T

q

2

p

响应曲线。先根据

T

p

2

p

的

最终收敛值

T

p

2

p

可以计算出核

p

的等效热阻

R

p

2

p

，计算公式如下：

R

p

,

p

=

T

p

,

p

P

p

2

p

(4-6)

式

4-6

中

$P$

$p$

$\rho$

$p$

是核

$p$

内所有模块的功耗之和。再根据等效热阻

$R$

$p$

$\rho$

$p$

，以及核

$q$

功耗

$P$

$q$

$\rho$

$q$

的阶跃

激励作为单一注入热源所得到的

$T$

$p$

$\rho$

$q$

，采用如下公式计算出反映

$P$

$q$

$\rho$

$q$

对核

$p$

温度作用关系

25

4

考虑温度对漏电流功耗影响的

MPSoC

结构级热分析方法

的等效热阻

$R$

$p$

，

$q$

，

$R$

$p$

，

$q$

=

$T$

$p$

$$\begin{array}{c} , \\ q \\ P \\ q \\ , \\ q \\ (4-7) \end{array}$$

之后根据以上所获得的参数，可以计算

P  
q  
,  
q  
对核

p  
温度计算产生影响的等效热源

$$\begin{array}{c} \frac{P}{\underline{\underline{P}}} \\ , \\ \frac{q}{\underline{\underline{P}}} \\ : \\ \frac{P}{\underline{\underline{P}}} \\ , \\ \frac{q}{\underline{\underline{T}}} \\ = \\ \frac{T}{\underline{\underline{P}}} \\ , \\ \frac{q}{\underline{\underline{T}}} \\ \underline{\underline{P}} \\ , \\ \frac{p}{\underline{\underline{P}}} \\ \underline{\underline{P}} \\ \underline{\underline{P}} \\ , \\ \frac{p}{\underline{\underline{R}}} \\ = \\ \frac{R}{\underline{\underline{P}}} \\ , \\ \frac{q}{\underline{\underline{R}}} \\ \times P \\ \frac{q}{\underline{\underline{P}}} \\ , \\ \frac{q}{\underline{\underline{R}}} \\ \underline{\underline{P}} \\ , \\ \frac{p}{\underline{\underline{P}}} \\ \times P \\ \underline{\underline{P}} \\ , \end{array}$$

$$\frac{p}{P} = \frac{p}{R} = \frac{q}{P} = \frac{q}{R} \quad (4-8)$$

最后，按照图

4.5

中所给出的热分析模型，可以列出如下热分析表达式：

$$\frac{T}{p} = \frac{p}{R} = \frac{n}{\sum_{q=1}^n \frac{p}{P}} \quad (4-9)$$

式  
4-9  
中  
n

为多核芯片中的核数。从式

4-9

可知：

CorTAM

方法的算法复杂度为

$$O(n^2)$$

从计算机系统结构可知，核数  
n

远小于模块数

$N$

，因此，多核芯片的核级温度分析复杂度

要远小于模块级。

#### 4.2.3

考虑核内模块相互影响的改良核级热分析方法BiCorTAM

在核级热分析方法研究中，假设了核内各个模块对核内逻辑模块中心温度具有相同的相关热阻，并且每个核内仅需计算一个点的温度；核内各模块均使用该温度来刷新模块的漏电流功耗，会使整个核的漏电流功耗增大。为了使漏电流计算更为精确，必须计算出各自模块的温度，为此，下面给出一个考虑核内模块相互影响的改良核级热分析方法：

BiCorTAM

。在

BiCorTAM

方法中，先进行如下的假设：

1)

核

$q$

的功耗

$P$

$q$

$\rho$

$q$

对核

$p$

内所有模块均产生相同的等效热量影响为

$P$

$p$

$\rho$

$q$

$=$

$R$

$p$

$\rho$

$q$

$R$

$p$

$\rho$

$p$

$P$

$q$

$\rho$

$q$

，其

中

$R$

$p$

$\rho$

$q$

为两个核内所有模块之间相关热阻的平均值，即

$R$

$p$

$\rho$

$\frac{q}{1-\sum_{i \in BS}}$

$\frac{p}{\sum_{j \in BS}}$

$\frac{q}{R_i}$   
 $\frac{j}{(4-10)}$

式  
 $4-10$

中  
 $BS$

$c$   
是核

$c$   
内所有模块的集合。

2)  
在核

$p$   
内，模块

$j$   
对模块

$i$   
的等效热量影响为

$P$   
 $i$

$j$   
 $=$

$R$   
 $i$

$j$   
 $R$

$R$   
 $i$

$j$   
 $P$

$j$   
 $j$

$j$   
 $j$

，式中

$i$   
 $j \in BS$



$p$

°

按照以上假设，可以列出如下

*BiCorTAM*

表达式：

$T$

$i$

°

$i$

$R$

$i$

°

$i$

=

=

$n$

$\sum_{q=1, q \neq p}$

$P$

$p$

°

$q$

+

$m$

$\sum$

$j=1$

$P$

$i$

°

$j$

(4-11)

从式

4-11

可知：

*BiCorTAM*

方法的算法复杂度为

$O(n$

$2$

$+ (m$

$2$

$1)n)$

°

*BiCorTAM*

的计算复杂度

介于

*CorTAM*

和

*BlotAM*

之间，当

$m \gg n$ 时，*BiCorTAM*的算法复杂度近似等于*CorTAM*。

26

5 MPSoC

结构级热分析的实验数据与分析

5. 1

实验平台与测例说明

本文选择热分析软件

HotSpot-5.02

作为验证基准，构建

3

个测例进行温度

—

功耗数据

对比分析，从而检验所提出的模块级、核级、改良核级这

3

种热分析方法的精度与效

率。

HotSpot

软件以及三种热分析方法的运行平台为为配有

Intel Core i7

,

8G RAM

, 运

行

Ubuntu 12.04 LTS

版本的

PC

机。

测例

1

采用文献

[17]

策略，将

4

个

Alpha21264

核心组合为一个

4

核处理器。每

个

Alpha21264

的处理核心核配有两块独享缓存

L2 Right

、

L2 Left

,

4

个核共享最后一级

缓存

L3

。芯片的布局为：将处理核心放置于芯片的四个角落，每个核的独享缓存处于核

的周围，而将共享缓存区置于芯片中心（这样做不仅考虑了处理单元的片上散热问题，

也有利于通过功率较低的共享缓存，隔断功率较大的多个核相互之间的热交换影响）。

测例

2

采用

Intel Sandy Bridge-E

架构的

核高端

CPU

芯片

[35]

。该芯片核心面积为

435

平

方毫米（长宽尺寸分别为

20.9

毫米、

20.8

毫米，基本呈正方形）。本文按照其布局原则，

模拟生成了一种较为简略的芯片布局结构。

对于测例

1

和测例

2

，进行类似的实验方案。该方案过程如下：根据表

5.1

中所示功率

参数分配设置方案，首先重复地随机产生功耗分布；然后，在考虑电热耦合效应的情况

下，分别采用

B1oTAM

、

CorTAM

和

BiCorTAM

方法，获得每个功率分布的温度稳定分布；

最后将得到的结果与

HotSpot

的分析结果进行对比。

测例

3

基于测例

1

中采用过的

Alpha21264

核心，构建多个对于

16

核的虚拟芯片的布图规

划。为了模拟温敏布局规划过程，本文对各个布图方案进行热分析，在模拟过程中，测

试本文方法的运行耗时或效率。

5.2

方法分析精度的实验数据与分析

正如前文所提到的，本文按照表

5.1

中设定的功率参数，随机产生

100

个功率输入向

量；然后采用

HotSpot

、

BloTAM

,

BioCorTAM

,

CorTAM

这

4

种热分析方法，测试各个核

与功能模块的温度与静态功耗。其中，一个核的静态功耗值等于所属模块的静态功耗值之和，这个核的局部热点温度是它的

Core x

模块温度。本文以

HotSpot

的分析结果值作为

27

5 MPSoC

结构级热分析的实验数据与分析

基准，来计算其余

3

种方法的相对误差。由于芯片的工作温度均是相对环境温度

T

ambient

而

言，所以使用式

5-1

来计算温度误差

E

T

:

E

T

= |

T T

HotS pot

T

HotS pot

T

ambient

| (5-1)

其中

T

HotS pot

是

HotSpot

的测值，

T

是本文方法的温度计算值。同时，采用式

5-2

来计算静态

功耗误差

E

Plk

:

E  
Plk  
= |  
Plk Plk  
HotS pot  
Plk  
HotS pot  
| (5-2)

式

5-2

中

Plk

HotS pot

是

HotSpot

的静态功耗测值，

Plk

是本文方法的静态功耗计算值。

3

种方法的温度误差被列入表

5.2

。从表中不难看到，

BloTAM

的精度最高，平均

误差小于

1.6%

，最大误差小于

5%

；

BiCorTAM

的精确效果次之，平均误差小于

4.2%

’

最大误差小于

15%

；

CorTAM

的精度最低，平均误差达到

33%

，最大误差达到

45%

。所

以，

BloTAM

和

BiCorTAM

这

2

种方法均可以提供满意的热分析精度。

3

种方法的静态功耗

误差如表

5.3

所示。

B1oTAM

的精度最高，最大误差小于

0.5%

；

BiCorTAM

的精度次之，平

均误差小于

1.2%

，最大误差小于

3.7%

；

CorTAM

的精度最低，平均误差达到

25%

，最大误

差达到

35%

。因此，

B1oTAM

和

BiCorTAM 2

种方法均可以提供满意的静态功耗分析精度。

为了考察本文方法静态功耗与温度分析的误差来源，图

5.1

和图

5.2

给出了本文

3

种方

法对测例

1

中的各个模块，所产生的静态功耗与温度相对误差。对本文

3

种方法的误差分

析如下：

1) B1oTAM

方法的误差分析。由于

B1oTAM

是根据

HotSpot

软件的分析结果进行的自下而

上的建模，所以具有与

HotSpot

软件最近分析精度。如图

5.1

所示，各模块的静态功

耗分析误差小于

0.3%

；如图

5.2

所示，各模块的稳态温度分析误差小于

4%

。

## 2) CorTAM

方法的误差分析。在测例

1

中的一个核内，具有高功耗（高发热量）

的

Core x

模块自然是高温模块，在其总功耗中，静态功耗所占的比例较高；而其

他

3

个模块（

L2 x

、

L2 Left x

、

L2 Right x

）是具有低功耗的低温模块，其静态功耗

所占的比例也较低。如图

5.1

所示，产生局部热点的

Core x

模块温度明显高于其他核

内模块。

CorTAM

模型假设核中所有模块的温度均等于核的局部热点温度，这与事

实有着较大的出入，导致其所计算出来的低温模块静态功耗被明显拉高，故而产

生了

11%-15%

的较大误差。另一方面来说，高温模块的温度就是核内的局部热点温

度，

CorTAM

所计算出来的高温模块静态功耗也就理所应该较为精确（其相对误差

小于

2%

）。由于低温模块的静态功耗计算误差明显偏大，以核内所有模块功耗总和

28

5 MPSoC

结构级热分析的实验数据与分析

表

5.1

本文测例各功能模块的面积与功耗参数设定

测例功能模块面积（

mm × mm） 动态功率(w)

Core x 3 × 3 10-20

L2 left x 5 × 3 1-2.5

1

L2 x 5 × 5 2-5

L2 right x 3 × 5 1-2.5

DDR IO 2 3 × 8 2-6.5

MA 3 × 4 2-6.5

DDR IO 1 3 × 8 2-4.5

OSR x 1 × 2 0-1

IDM x 1 × 2 0-1

L1I x 1 × 2 0-2  
2 EU x 2 × 2 1-8  
L1D x 2 × 2 0.5-3  
L2 x 2 × 2 0.5-4.5  
LLC x 4 × 3 2-6.5  
PCU 2 × 8 2-7.5  
QPI 3 × 12 2-7.5  
PCIE 3 × 8 2-7.5

表

5.2

多核芯片核内局部热点的温度分析精度对比

B1oTAM CorTAM BiCorTAM

Avr. E

T

Max. E

T

Avr. E

T

Max. E

T

Avr. E

T

Max. E

T

测例

1 1.361% 1.574% 6.573% 12.851% 2.223% 2.259%

测例

2 1.447% 4.864% 33.063% 45.840% 4.185% 14.598%

来计算核的局部热点温度就会产生较大的误差；如图

5.2

所示，其所产生的温度误差

处于

6%-8%

之间，明显大于其他

2

种方法。

3) BiCorTAM

方法的误差分析。该方法正视了核内模块温度之间具有着明显差别，所

以，仅仅将核外模块作为一个影响整体进行考虑。由于仅将热点之间的相关热阻作

为核间影响的系数，所以该方法对于热点温度和静态功耗，可以提供较高的精度

（如图

5.1

所示，各模块的静态功耗误差小于

0.7%

）；但其对于核内低温模块的温度

计算精度则较差（如图

5.2

所示，产生热点的高温模块的温度误差小于

2.2%

，但低温

模块的温度误差则达到了

5%-11%

）。



29  
5 MPSoC  
结构级热分析的实验数据与分析  
表  
5.3  
多核芯片各核静态功耗的分析精度对比

BloTAM CorTAM BiCorTAM

Avr. E

Plk

Max. E

Plk

Avr. E

Plk

Max. E

Plk

Avr. E

Plk

Max. E

Plk

测例

1 0.314% 0.327% 6.857% 10.816% 0.495% 0.570%

测例

2 0.144% 0.317% 25.123% 35.084% 1.196% 3.687%

图

5.1

测例

1

各功能模块的静态功耗分析误差

图

5.2

测例

1

各功能模块温度的分析误差

30

5 MPSoC

结构级热分析的实验数据与分析

表

5.4 1000

次热分析的各个算法耗时及其加速倍数

X

对比

分析算法

HotSpot BloTAM CorTAM BioCorTAM

T

analysis

/

s 61.301 1.216 0.414 0.927

T

total

/

s 61.301 4.663 4.374 4.374

X

analysis

BASE 50.416 147.962 66.100

X

total

BASE 13.147 15.876 14.014

5.3

本文方法计算速度的实验数据与分析

本文采用

16

核的测例

3

(大测例) 对其进行计算速度的验证。

3

种方法需要采

用

HotSpot

软件对相关热阻的参数提取, 由于芯片中有

16

个核、每核有

4

个模块, 所以

本文方法需要进行

64

次

HotSpot

模拟, 这部分耗时被称为建模时间

T

Model

。

#### 4. XS\_201121210009\_闫佳琪\_第4部分

总字数: 5723

文字复制比: 27.1% (1549) (0)

1	考虑温度对漏电流功耗影响的MPSoC结构级热分析方法 闫佳琪; 骆祖莹; 唐亮; 赵国兴; - 《计算机辅助设计与图形学学报》- 2013-11-15	25.0% 是否引证: 是
2	计算机网络服务综合测试系统的研究和实现 黄晶(导师: 杨家海) - 《清华大学硕士论文》- 2005-05-01	1.0% 是否引证: 否
3	“金财工程”应用支撑平台研究与设计 陈宇(导师: 李银胜) - 《复旦大学硕士论文》- 2008-02-03	0.8% 是否引证: 否
4	加拿大世界文化遗产的保护和利用 季发(导师: 郑群) - 《山东大学硕士论文》- 2008-04-01	0.7% 是否引证: 否
5	稻瘟病菌一假定阿魏酸酯酶的生化性质与分子遗传研究 郑祥梓(导师: 周洁; 王宗华; 鲁国东) - 《福建农林大学硕士论文》- 2008-04-01	0.7% 是否引证: 否
6	Ni <sub>3</sub> Al表面H和O原子吸附的第一性原理研究 郭庆强(导师: 王福合) - 《首都师范大学硕士论文》- 2008-04-25	0.6% 是否引证: 否
7	B2结构金属间化合物力学性质的第一性原理研究 李章伟(导师: 王福合) - 《首都师范大学硕士论文》- 2008-04-20	0.6% 是否引证: 否
8	固相萃取一反相高效液相色谱法检测乳粉叶酸的研究 石丹(导师: 包怡红) - 《东北林业大学硕士论文》- 2009-04-01	0.6% 是否引证: 否
9	花的形色与精神 周圣霞(导师: 杨悠明) - 《首都师范大学硕士论文》- 2008-05-20	0.6% 是否引证: 否
10	基于理论生长方程的尾巨桉人工林栽培密度效应评价 龙滕周(导师: 孟永庆) - 《中国林业科学研究院硕士论文》- 2008-05-01	0.5% 是否引证: 否

原文内容

实验测试结果

表明，

$T$

Model

= 3.447 秒 (S)。建模之后，本文方法基于这些参数，采用式4-5、4-9、

式

4-11

对

1000

个输入功耗进行温度分析与静态功耗计算，这部分耗时被称为热分析时

间

$T$

analysis

；建模时间与热分析时间两部分的总和被称为总耗时

$T$

total

=  $T$

Model

+  $T$

analysis

。本

文方法所提供的加速倍数

$X$

是

HotSpot

的耗时与本文方法耗时之比，其中，不计入建模时

间而只计入热分析计算耗时的加速比被称为热分析加速倍数

$X$

analysis

，而总耗时加速倍数

为

$X$

total

。表

5.4

列出了耗时与各种加速比的计算结果。可以看出，本文方法的总耗时主要消耗在建模时间上；只要提取出了模型参数，由于本文的模型复杂度很低，采用式

4-5

、

4-9

、式

4-11

计算温度与静态功耗就是一个非常快速的计算过程（即

$T$

analysis

非常小，只

占

$T$

total

很小的部分）。与

HotSpot

软件相比，本文

3

种方法分析计算的加速比

X  
analysis

分别达

到

50

、

147

、和

66

；但考虑到

T

analysis

只占

T

total

很小的部分，所以本文

3

种方法总耗时的加速

比只能达到

13

、

15

、和

14

。

从表

5.2-

表

5.4

的算法精度与复杂度的比较结果可以看出：与

HotSpot

软件相比，本文

的

BloTAM

和

BiCorTAM

在满足精度要求的前提下（热点温度误差小于

2.2%

），获得了满

意的加速效果，总耗时的可以达到

13

倍和

14

倍的加速效果。

5.4

小结

第

4

章介绍了采用自下而上的建模方法对

MPSoC

结构级热分析方法进行了探索，

提出了

3

种具有不同算法复杂度与精度的热分析方法：模块级方法

BloTAM

、核级方

法

CorTAM

、考虑本核内模块相互影响的改良核级方法

BiCorTAM

。本章中大量的实验数

据表明：对核数较多

MPSoC

进行热分析的时候，

BloTAM

和

BiCorTAM

均具有算法复杂度

31

5 MPSoC

结构级热分析的实验数据与分析

低和精度高的优点：平均相对增量误差最大不超过

3%

，同时可以获得

14

倍左右的运算加

速效果。

32

6

总结

面向复杂应用的高性能片上系统为了规避和减轻功耗墙问题，延续了摩尔定律，采用了实时温度功耗管理与多核并行计算结构两种主要的技术手段。本文对这两种技术手段中的一些技术问题做了较为深入的研究。第

2

章

—

第

3

章对温度敏感的实时功耗调度和多核

芯片的热分析方法这两个不同领域，分别做了较为深入的研究，并取得了如下成果。

首先，为了构建一个高效的

DPTM

系统，本文不仅提出了一种具有高精度的组合式任

务预测方法，而且还提出一种新的

DPTM

任务调度算法

VP-TALK

，并进一步集成了一个基

于负载预测的

DPTM

原型系统，该系统主要包括工作负载预测、任务实时调度两大模块。

基于多种调度算法的实时调度模块：先根据对工作负载率的精确预测值、计算出最优工作状态的电压/频率理想值，再从系统的电压/频率对的实际设定值中选取相邻的两个工作状态，最后考虑系统实时性、温度上限限制、静态功耗与温度的敏感关系以及芯片模式切换代价等多种因素，利用机器学习的方法，选择一种最优的调度策略。大量的模拟实验表明：

1)

在负载预测方面，本文

DPTM

系统所采用的组合任务预测方法胜过众多的相关模型及算法，平均误差仅为

2.89%

；

2)

在节能效果方面，当负载率高于

55%

时，基于相同的峰值温度约束，本文

所提出的

VP-TALK

算法分别比

Pattern-based

、

M-oscillating

和

TALK

对比算法节能

约

20.5%

、

11.0%

、

11.5%

；

3)

本文

DPTM

原型系统的调度效果接近于理想调度效果。

第

4

章

—

第

5

章中，采用自下而上的策略，使用

HotSpot

提取

MPSoC

功能模块之间的热相

关系数，建立了模块级热分析方法

BloTAM

；仅依靠热点之间的热相关系数、建立一个

算法复杂度非常低的核级热分析方法

CorTAM

；结合

BloTAM

与

CorTAM

两种方法，进一步

提出了考虑本核内模块相互影响的改良核级方法

BiCorTAM

。与现有的结构级热分析算

法相比，本文所提出的三种方法均具有简单、高效、与现有简化模型兼容、易于扩展、考虑

LDT

影响等优点，可以满足温敏

MPSoC

设计对高效、精确的结构级热分析方法的需

求。与

HotSpot

软件的实验结果相比，本文方法的实验数据表明：

1)

对核数较多

MPSoC

进行局部热点温度分析的时候，

BloTAM

和

BiCorTAM

只产

生

2%

、

3%

以下的温度增量平均误差，是高精度的结构级热分析方法。

2)

在采用电压频率调节的温敏

16

核

CPU

布图规划研究中，在包含参数提取时间的情况

33

6

总结

下，

BloTAM

和

BiCorTAM

可以提供

50

倍左右的计算加速。

3)

从总体效果来看，在本文所提出三种建模分析方法中，

BloTAM

和

BiCorTAM

方法可

以提供满意的分析精度与计算加速，是较为理想的

MPSoC

结构级热分析方法。

34

参考文献

1. S. Borkar. Thousand Core Chips: A Technology Perspective[C]. Proceedings of the 44th Design Automation Conference, San Diego, USA, 2007. 746 - 749.

2. G. Moore. Progress in Digital Integrated Electronics[C]. Proceedings of IEDM Tech Digest, Washigdon D.C., USA, 1975. 11 - 13.
3. B. Zhai. Theoretical and Practical Limits of Dynamic Voltage Scaling[C]. Proceedings of the 40th Design Automation Conference, San Diego, USA, 2004. 868 - 873.
4. R. Jejurikar, C. Pereira, R. Gupta. Leakage Aware Dynamic Voltage Scaling for Real-Time Embedded Systems[C]. Proceedings of the 40th Design Automation Conference, San Diego, USA, 2004. 275 - 280.
5. T. Chantem, R. P. Dick, X. S. Hu. Temperature-aware Scheduling and Assignment for Hard Real-time Applications on MPSoCs[C]. Proceedings of Design, Automation & Test in Europe, Munich, Germany, 2008. 288 - 293.
6. M. Santarini. Thermal Integrity: A Must for Low-power-IC Digital Design[J]. Sustainable Computing, Informatics and Systems, 2011, 4:286 - 293.
7. Z. G. Fu, C.S. Sun, Z. Y. Luo. A Task Scheduling Algorithm of Real-time Leakage Power and Temperature Optimization[C]. Proceedings of Computer Aided Design and Computer Graphics, Yellow Mountain City, China, 2009. 484 - 491.
8. Berkeley BSIM3 Device Models[Z]. [EB/OL]. <http://www.device.EECS.Berkeley.edu/bsim3>.
9. H. Sanchez, B. Kuttanna, T. Olson. Thermal Management System for High Performance Power PC Microprocessors[C]. Proceedings of International Conference on Technologies for the Information Superhighway, San Jose, USA, 1997. 325 - 330.
10. W. Huang, M. R. Stan, K. Sankaranarayanan. Many-core Design from a Thermal Perspective[C]. Proceedings of the 45th Design Automation Conference, Anaheim, California, USA, 2008. 746 - 749.
11. M. B. Healy, H. H. S. Lee, G. H. Loh. Thermal Optimization in Multi-granularity Multi-core Floorplanning[C]. Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009. 43 - 48.
12. K. Michael, R. Sherief. Frequency and Voltage Planning for Multi-core Processors under Thermal Constraints[C]. Proceedings of International Conference on Computer Design, Cancun, Mexico: Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2008. 463 - 470.

35

#### 参考文献

13. K. Sankaranarayanan, B. H. Meyer, M. R. Stan. Thermal Benefit of Multi-core Floorplanning: A Limits Study[J]. Sustainable Computing, Informatics and Systems, 2011, 4:286 - 293.
14. V. Hanumaiah, R. Rao, S. Vrudhula. Throughput Optimal Task Allocation under Thermal Constraints for Multi-core Processors[C]. Proceedings of the 46th Design Automation Conference. New York: ACM Press, 2009. 776 - 781.
15. Y. Ge, Q. R. Qiu. Task Allocation for Minimum System Power in a Homogenous Multi-core Processor[C]. Proceedings of International Green Computing Conference. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2010. 299 - 306.
16. C. L. Lung, Y. L. Ho, D. M. Kwai. Thermal-aware Online Task Allocation for 3D Multi-core Processor Throughput Optimization[C]. Proceedings of Design Automation & Test in Europe, Grenoble, France: New York: ACM Press, 2011. 1 - 6.
17. D. C. Juan, D. Marculescu. A Learning-based Autoregressive Model for Fast Transient Thermal Analysis of Chip-multiprocessors[C]. Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference, Sydney, Australia: Piscataway, NJ: IEEE Press, 2012. 597 - 602.
18. K Skadron, T. Abdelzاهر, R. M. Stan, et al. Control-Theoretic Techniques and Thermal-RC Modeling for Accurate and Localized Dynamic Thermal Management[C]. Proceedings of High Performance Computer Architecture, Boston, USA, 2002. 17 - 28.
19. K. Skadron, R. M. Stan, K. Sankaranarayanan. Temperature-aware Microarchitecture: Modeling and Implementation[J]. ACM Transactions on Architecture and Code Optimization, 2004, 1(1):94 - 125.
20. J Srinivasan, S. V. Adve. Predictive Dynamic Thermal Management for Multimedia Appli-



cations[C]. Proceedings of International Conference on Supercomputing, San Francisco, USA, 2003. 109 - 120.

21. L. Yuan, S. Leventhal, G. Qu. Temperature-aware Leakage Minimization Technique for Real-time Systems[C]. Proceedings of International Conference on Computer Aided Design, San Jose, USA: Piscataway, NJ: IEEE Press, 2006. 761 - 764.
22. C. Y. Yang, L. Thiele, T. W. Kuo. Energy-efficient Real-Time Task Scheduling with Temperature-Dependent Leakage[C]. Proceedings of International Conference on Computer Aided Design, Dresden, Germany, 2010. 9 - 14.
23. M. Bao, A. Andrei, P. Eles. Temperature-aware Idle Time Distribution for Energy Optimization with Dynamic Voltage Scaling[C]. Proceedings of Design, Automation & Test in Europe, Dresden, Germany, 2010. 21 - 27.
24. H. Huang, G. Quan. Leakage Aware Energy Minimization for Real-Time Systems under the Maximum Temperature Constraint[C]. Proceedings of Design, Automation & Test in Europe, Grenoble, France, 2011. 479 - 484.

36

参考文献

25. Y. Zhan, B. Goplen, S. S. Sapatnekar. Electrothermal Analysis and Optimization Techniques for Nano-scale Integrated Circuits[C]. Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference, Yokohama, Japan: Piscataway, NJ: IEEE Press, 2006. 219 - 222.
26. W. Huang, S. Ghosh, S. Velusamy. HotSpot: A Compact Thermal Modeling Methodology for Early-stage VLSI Design[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 2006, 14(5):501 - 513.
27. M. Janicki, J. H. Collet, A. Louri. HotSpots and Core-to-core Thermal Coupling in Future Multi-core Architectures[C]. Proceedings of the 26th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2010. 205 - 210.
28. L. Thiele, S. Chakraborty, M. Naedele. Real-time Calculus for Scheduling Hard Real-time Systems[C]. Proceedings of International Symposium on Circuits and System, Geneva, Switzerland, 2000. 101 - 104.
29. V. Chaturvedi, H. Huang, G. Quan. Leakage-aware Scheduling on Maximal Temperature Minimization for Periodic Hard Real-time Systems[C]. Proceedings of International Conference on Embedded Software and System, Bradford, UK, 2010. 1802 - 1809.
30. D. Rai, H. Yang, I. Bacivarov. Worst-Case Temperature Analysis for Real-Time Systems[C]. Proceedings of Design, Automation & Test in Europe, Grenoble, France, 2011. 631 - 636.

31.

闫佳琪

,

骆祖莹

,

赵国兴

.

基于任务精确预测的实时功耗温度管理

[C]. Proceedings of

第

十七届全国计算机辅助设计与图形学学术会议暨第九届全国智能

CAD

与数字娱乐学术

会议论文集

,

北京

:

清华大学出版社

. 513 - 516.

32. MATLAB[Z]. [EB/OL]. <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.

33. K. Skadron, M. R. Stan, W. Huang. Temperature-aware Microarchitecture[C]. Proceedings of International Symposium on Computer Architecture. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2003. 2 - 13.

34. W. P. Liao, L. He, K. M. Lepak. Temperature and Supply Voltage Aware Performance and Power Modeling at Microarchitecture Level[J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and System, 2005, 24(7):1042 - 1053.

35. Intel Sandy Bridge-E

架构的

8

核高端

CPU[Z]. [OL]. <http://ark.intel.com/products/63696>.

37

学术成果

1. Jiaqi Yan, Zuying Luo, Liang Tang:

《

Accurate Architecture-level Thermal Analysis

Methods for MPSoC with Considering Leakage Power Dependence on Temperature

》

ISQED2013: 178-183.

(

EI

收录, 检索号:

20132716473440

)

2.

闫佳琪, 骆祖莹, 唐亮, 赵国兴: 《考虑温度对漏电流功耗影响的

MPSoC

结构级热

分析方法》计算机辅助设计与图形学学报,

2013

,

24

(

11

):

1767-1774

(

EI

源刊)

3.

闫佳琪, 骆祖莹, 赵国兴: 《基于任务精确预测的实时功耗温度管理》, 中国图形学进展

(2012)-

第十七届全国计算机辅助设计与图形学学术会议

(CAD/CG '2012)暨第

九届全国智能

CAD

与数字娱乐学术会议

(CIDE '2012)

论文集

### 致谢

衷心感谢导师骆祖莹副教授和赵国兴老师在研究生期间对本人的精心指导，他们的言传身教将使我终生受益。

感谢我的父母。没有他们对我学习上的支持与生活上的关爱，我不可能做出今天的研究成果。

感谢高性能计算实验组曾经与现在的同学，他们是杨旭、黄琨、唐亮、李晓怡、王红蕊、王嘉琪、邹甜、唐传高等同学，有他们陪伴的研究生三年是我一生中最珍贵的时光。

感谢虚拟现实实验室主任与信息科学与技术学院院长周明全教授，以及实验室全体老师和同学们的帮助和支持！本文所有工作都承蒙国家自然科学基金资助，特此致谢。

感谢北京师范大学天文系的余恒老师，因为他制作维护的北京师范大学学位论文模板极大的方便了

L

A

T

E

X

用户的论文写作。

闫佳琪

2014

年

4

月

39

---

说明：1. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

2. 红色文字表示文字复制部分；黄色文字表示引用部分

3. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责

4. Email: [amlc@cnki.net](mailto:amlc@cnki.net)

 <http://e.weibo.com/u/3194559873>

 [http://t.qq.com/CNKI\\_kycx](http://t.qq.com/CNKI_kycx)