光互连指令级并行计算结构模型

罗金平,周兴铭,陈书明
(国防科技大学计算机学院并行与分布处理实验室,长沙 410073)

摘 要: 指令级并行处理技术在计算机系统中十分关键.目前部分指令级并行处理技术已经非常成熟,但这些技术复杂度太高,且实现的并行度有限.本文从 VLSI 和光互连技术发展出发,提出一种光互连指令级并行计算结构模型;这种模型重新考虑计算机的软硬件界面,充分利用编译器提供的并行信息,因而具有一定的优越性.

关键词: 计算机体系结构;指令级并行处理;光互连;波分复用
中图分类号: TP338.6 **文献标识码**: A **文章编号**: 0372-2112 (2000) 11-0096-03

A New Instruction Level Parallel Processing Model Based on Optical Interconnection

LUO Jin-ping, ZHOU Xing-ming, CHEN Shu-ming
(*PDL, School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha* 410073, *China*)

Abstract: Instruction Level Parallelism (ILP) plays a key role in computer. Now several ILP technologies have been matured and applied in modern computer systems, but these technologies could only explore very limited parallelism with a high complexity. A new computer architecture was proposed, based on reconsidering the interface between hardware and software, which benefits from the parallel information provided by compiler. It could make good use of transistor resources offered by today's VLSI and bandwidth resources offered by optical interconnection.

Key words: computer architecture; ILP; optical interconnection, WDM (wavelength division multiplexing)

1 引言

ILP 在现代计算机中扮演着重要角色. ILP 技术对提高计算机系统性能起到了十分关键的作用,但仍存在一定的不足之处,如复杂度太高、并行度有限等.这些不足与计算机系统结构有着密切关系.计算机系统结构规范着计算机软件与硬件的接口,直接决定系统的并行效率,从而影响系统的性能和复杂度.结合算法的 ILP 研究表明,程序中指令间的相互独立性远远大于相关性,同时同一算法在不同的体系结构下可以得出差距很大的指令级并行度[2].许多研究认为,程序基本块内指令级并行度为 2 - 3.5,跨越基本块的并行度为 5 - 20[3].由于现代计算机无法显式描述指令间的相互关系,因而在实现指令级并行处理上遇到诸多困难.

现代计算机采用目前的体系结构与半导体器件和互连技术现状紧密相关,如电互连技术带宽有限、互连密度不高、CPU 与存储器之间的性能差距较大等.随着光互连技术的出现与成熟,互连技术可望得到根本改观;同时 VLSI 工艺的进步使得在芯片上集成的晶体管资源极大丰富,器件与组装技术正在发生深刻变化.结合 VLSI 器件技术和光互连技术的发展,针对目前 ILP 技术的不足,本文提出光互连指令级并行计算机结构模型 OILP (Optical-Interconnected Instruction Level Parallel Processing).

收稿日期:1999-08-05;修回日期:1999-11-09
基金项目:国防预研基金

2 数据存储空间结构

(1) 存储单元 E_m

Rdy_ id: 就绪标志, Rdy_ $id \in$ {True, False}; Data: 数据

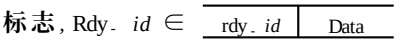


图 1 数据存储单元

(2) 输入数据空间 $Data_{in}$

$Data_{in} = \{ E_m \mid E_m$ 用于初始输入$\}$,已初始化的 Em 就绪标志初始时为真,否则为假.

(3) 输出数据空间 $Data_{out}$

$Data_{out} = \{ E_m \mid E_m$ 用于结果输出$\}$,初始时就绪标志为假.

(4) 输入输出数据空间 $Data_{in/out}$

$Data_{in/out} = \{ E_m \mid E_m$ 用于存储中间结果$\}$,初始时就绪标志为假.

(5) 数据存储空间 $Data$

$Data = Data_{in} \cup Data_{out} \cup Data_{in/out}$

(6) 数据单元的操作

只能对就绪标志为真的单元进行读;只能对就绪标志为假的单元进行写.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　指令空间

(1) 指令单元 E_I

探测波长	指令就绪	控制就绪	操作码	源操作数 1	源操作数 1 就绪	源操作数 2	源操作数 2 就绪	目的操作数

图 2　指令单元结构

探测波长:探测器的工作波长;操作数就绪:当为真时,表示该操作数可用;控制就绪:表示该指令的执行是否受控于分支控制指令以及控制条件是否满足;指令就绪:当操作数就绪为真且控制就绪为真时,取值为真,否则为假;源操作数:指令运行基于的数据集;目的操作数:指令结果的存储单元;

(2) 指令源操作数空间域 $D(E_I)$

$D(E_I)=\{E_m \mid E_m$ 是源操作数 1 或源操作数 2$\}$

(3) 指令目操作数空间域 $R(E_I)$

$R(E_I)=\{E_m \mid E_m$ 是目操作数$\}$

(4) 输入指令空间 $Inst_i$

$Inst_i=\{E_I \mid D(E_I)\subset Data_{\text{in}}\}$

(5) 计算指令空间 $Inst_{io}$

$Inst_{io}=\{E_I \mid D(E_I)\subset Data_{\text{in/out}} \wedge R(E_I)\subset Data_{\text{in/out}}\}$

(6) 输出指令空间 $Inst_o$

$Inst_o=\{E_I \mid D(E_I)\subset Data_{\text{in/out}} \wedge R(E_I)\subset Data_{\text{out}}\}$

(7) 指令空间 $Inst$

$Inst=Inst_i \cup Inst_{io} \cup Inst_o$

4　系统结构

图 3 是系统结构与控制指令执行示意图,图中 PE_i、PE_{io}、PE_o 分别表示微处理单元阵列,$Inst_i$、$Inst_{io}$、$Inst_o$ 分别表示指令存储单元. 通过将指令按数据访问关系分类,同时对数据状态进行标记,可以对指令间的相互关系进行显式表示,从而提高指令的并行调度执行效率. 分支控制指令的执行结果使得一定范围内的指令的控制就绪标志发生变化.

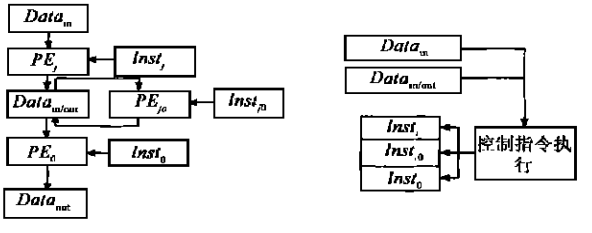


图 3　系统结构与控制指令执行

5　指令执行

(1) 就绪指令

就绪标志为真的指令.

(2) 指令执行

任何就绪指令均可以调度执行.

(3) 指令执行的单次性

就绪指令一旦被执行则进入非就绪状态. 指令在没有被分支指令影响的情况下只能被一次执行.

(4) 条件转移指令 E_I 的真域 DT(E_I) 与假域 DF(E_I)

DT(E_I):{ $\forall E_i \in Inst \mid E_i$ 在指令 E_I 条件为真时才能执行,且 $\forall E_j \in Inst, E_i \notin DTF(E_j)$};

DF(E_I):{ $\forall E_i \in Inst \mid E_i$ 在指令 E_I 条件为假时才能执行,且 $\forall E_j \in Inst, E_i \notin DTF(E_j)$};

$DTF(E_I)$:$DT(E_I) \cup DF(E_I)$

(5) 条件转移指令 E_I 的执行

当 E_I 结果条件为真时,$\forall E_i \in DT(E_I)$,其控制就绪变化为真;

当 E_I 结果条件为假时,$\forall E_i \in DF(E_I)$,其控制就绪变化为真;

(6) 程序结束

所有输出数据单元均进入就绪状态,或程序所有的指令其控制就绪标志为假.

6　关键部件的光互连技术实现途径

在本结构中条件指令实现是否高效,直接决定了系统是否可行. 现在采用集成光波导技术制作 OEIC 的技术日益成熟,使得这一实现途径已经切实可行.

(1) 实现条件指令结果输出的集成光波导 H 树

集成光波导 H 树在光互连时钟分布网络中研究较多[3],其详细结构这里不作描述. 在本结构中,指令存储器的每个单元需要附加一个波长可以调制的光电二极管,光电二极管直接连接到 H 树的叶节点上. 在 H 树中采用 WDM 技术.

(2) 编译时的静态波长分配

程序编译时,对任何条件指令可以确定其影响的真域和假域,在条件指令存储单元的目的操作数域中分别记录其真域与假域的波长.

(3) H 树中的 WDM 波长调制

程序加载时,根据指令单元中的波长域将存储该指令的存储单元的光电二极管波长调制到指定的值.

(4) 条件转移指令执行时的数据传输

在条件指令执行时,如果比较结果为真,则用真域波长广播指令就绪数据;如果比较结果为假,则用假域波长广播指令就绪数据;这样就使得一定范围内的指令集进入控制就绪状态.

7　模拟结果

在以下假设条件下对本模型的指令级并行特性进行了模

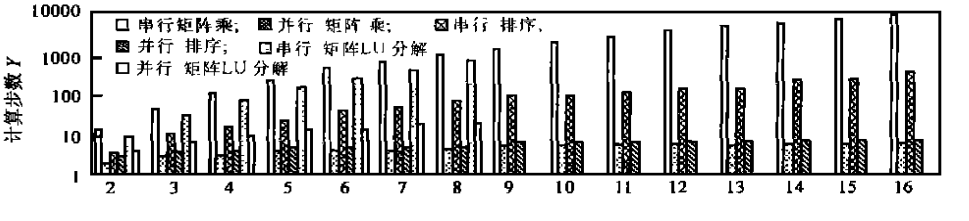


图 4　计算步数比较(方阵规模 X 科 X)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

拟:(1)假定系统中只存在输入、计算、输出三级微处理单元阵列,且阵列规模无限,以便于分析并行特性;(2)微处理单元阵列与存储单元之间有足够的带宽,保证任意并行度的数据读写都能够在一步完成,这可以采用高密度自由空间光互连技术和集成光波导技术实现;从目前光互连实验研究来看,光互连在目前的技术条件下可以提供足够的互连带宽满足互连需要.

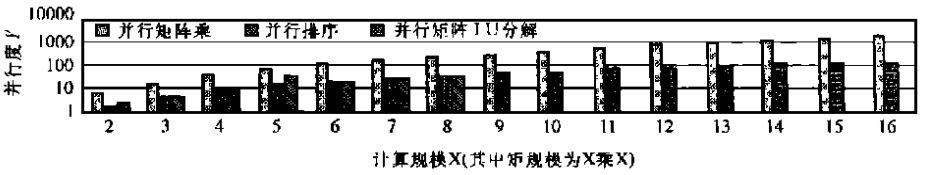


图5 并行度随计算规模的变化

模拟表明,在本模型结构下,指令级并行度随计算规模的增大呈明显上升的趋势,远远大于5 - 20[2]的并行度.在现代微处理器中,在指令发射时,需要硬件进行数据冲突、功能冲突、控制依赖等分析处理,因而在实际的计算机程序中只能表现算法有限的并行特性.

8 讨论

模拟表明,在这种结构模型下,可以达到远远大于5 - 20[2]的指令级并行度.光互连技术与电互连技术的根本区别在于其极大的互连密度,对这一特点的利用存在不同的途径,如AT&T Bell实验室的自由空间光互连逻辑门阵列流水线[6]、东京大学的自由空间光互连SIMD阵列处理结构等[6],目前的光器件水平还不能在合理的成本范围内有效地实现逻辑门级互连,SIMD结构只能实现专用领域的高效计算.本文的模拟实验表明,采用微处理单元阵列进行通用计算是合理的有效途径.

参考文献:

[1] 沃德·切尼,戴维·金凯德.数值数学和计算[M].复旦大学出版社,1991,4.

[2] H. C. Torng and Stamatis Vassiliadis. Instruction-Level Parallel Processing [M]. IEEE Computer Society Press,1994.

[3] R. T. Chen,L. Wu,F. Li,et al. Si CMOS Process Compatible Guided-Wave Multi-Gbit/Sec Optical Signal Distribution System for Cray T-90 Supercomputer [A]. Proceedings of the fourth International Conference on Massively Parallel Processing Using Optical Interconnections [C], June 22 - 24,1997,Montreal,Canada.

[4] 袁崇义. Petri网原理[M].电子工业出版社,1998,4.

[5] 高光荣. Compiling for Shared Memory Model: Relaxed Memory Consistency Models and Their Impacts [A]. 并行编译和并行计算环境前沿技术研讨会,1998,7.

[6] 罗金平,陈书明,周兴铭.光互连计算机体系结构现状与发展[J].电子技术应用,1998,4.

[7] P. D. Trinh, S. Yegnanarayanan. Jalali, 5X9 Integrated Optical Star Coupler in Silicon-on-Insulator Technology [J]. IEEE Photonic Technology Letters,1996,8(6):794 - 796.

作者简介:



罗金平 博士研究生,主要从事计算机体系结构与光互连技术研究.

周兴铭 中国科学院院士,主要研究领域为:高性能计算机体系结构,光互连,并行计算,计算机网络,并行数据库,多线程微处理器体系结构等.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net