

陈国良. 并行计算: 结构 · 算法 · 编程 [M].
1999.

屈彬

2019 年 7 月 7 日

1 并行计算机系统及其结构模型

1.1 并行计算 (2019 年 7 月 2 日)

1.1.1 并行计算与计算科学

定义 1.1 (应用需求) 应用需求分为三类, 计算密集 (*Compute-Intensive*) 型应用, 如大型科学工程计算与数值模拟; 数据密集 (*Data-Intensive*) 型应用, 如数字图书馆、数据仓库、数据挖掘和计算可视化等; 网络密集 (*Network-Intensive*) 型应用, 如协同工作、遥控和远程医疗诊断等。

定义 1.2 (高性能计算和通信) *High Performance Computing and Communication, HPCC*。

定义 1.3 (加速战略计算创新) *Accelerated Strategic Computing Initiative, ASCI*。

定义 1.4 (美国能源部三大高性能计算实验室) *Lawrence Livermore, Los Alamos, Sandia*。

1.2 并行计算系统互连 (2019 年 7 月 3 日)

1.2.1 系统互连

定义 1.5 (机群网络分类) 1. 系统域网络: (*System Area Network, SAN*), 连接短距离 ($\leq 25m$) 内的节点。

2. 局域网: (*Local Area Network, LAN*), 连接企事业单位内 (*500m 2km*) 内的节点。
3. 节点内网络: 由处理器总线、局部 (本地) 总线、存储器总线构成。
4. 小型机系统接口: (*Small Computer System Interface, SCSI*) 由 *I/O* 总线、系统总线构成。

定义 1.6 (工作站机群) (*Cluster of Workstations, COW*), 通过 *SAN/LAN* 互连的工作站组。

1.2.2 静态互连网络

定义 1.7 (对剖宽度) (*Bisection Width*): 将网络划分为两等分所必须剪去的最少边数。

1.2.3 动态互连网络

定义 1.8 (总线分类) 常用总线包括 *PCI*、*VME*、*Multibus*、*SBus*、*Microchannel* 和 *IEEE Futurebus*。

1. 本地总线: (*Local Bus*), CPU 板级上的总线。
2. 存储器总线: 存储器板级上的总线, 主要指内存与 CPU 互连的总线。
3. 数据总线: *I/O* 与通信板级上的总线, 例如硬盘与内存之间的总线, 以及网卡。

1.2.4 标准互连网络分类

1. 光纤分布式数据接口 (*Fiber Distributed Data Interface, FDDI*), 采用双向光纤令牌环提供 100 200Mb/s 的数据传输。
2. 快速以太网主流的互连网络, 第三代以太网数据传输速度可达 1Gb/s。
3. **myrinet** 由 Myricom 公司生产的千兆位包开关网。
4. 高性能并行接口 (*High Performance Parallel Interface, HiPPI*), 主要用于构筑异构计算机系统。
5. 异步传输模式 (*Asynchronous Transfer Mode, ATM*), 在光纤通信基础上建立起来的一种新的宽带综合业务数字网 (*B-ISDN*) 的交换技术。
6. 无线带宽 (*InfiniBand*)。

1.3 并行计算机体系结构（2019 年 7 月 4 日）

1.3.1 并行计算机结构模型

大型并行机系统一般可分为六类机器：

1. 单指令多数据流：（Single Instruction Multiple-Data, SIMD）。
2. 并行向量处理机：（Parallel Vector Processor, PVP）。
3. 对称多处理机：（Symmetric Multiprocessor, SMP）。
4. 大规模并行处理机：（Massively Parallel Processor, MPP）。
5. 工作站机群：（Cluster of Workstations, COW）。
6. 分布共享存储多处理机：（Distributed Shared Memory, DSM）。

除 SIMD 外，其余五种皆为 MIMD。

1.3.2 并行计算机访存模型

1. 均匀存储访问：（Uniform Memory Access, UMA），其特点包括：物理存储器被所有处理器均匀共享；所有处理器访问任何存储单元取相同的时间；每台处理器可带私有 cache；外围设备也可以一定形式共享。这种系统由于高度共享资源又被称为紧耦合系统（Tightly Coupled System）。多核同构 CPU 系统的存储模型属于典型的 UMA 模型。
2. 非均匀存储访问：（Nonuniform Memory Access, NUMA）。
3. 全高速缓存存储访问：（Cache-Only Memory Access, COMA）。
4. 高速缓存一致性非均匀存储访问：（Coherent-Cache Nonuniform Memory Access, CC-NUMA）。
5. 非远程存储访问：（No-Remote Memory Access, NORMA）。

1.3.3 并行计算机存储组织

定义 1.9 (层次存储技术) 利用程序局部性，设置多级存储系统。底层的存储器通常具有容量大、速度慢、成本低的特点，高层的存储器通常具有容量小、速度快、成本高的特点。层次存储技术出现的目的在于寻找性能与成本之间的平衡。

定义 1.10 (高速缓存一致性问题) 当处理器将新数据写入高层存储器时, 需保证其他层次中存储器的数据对应的位置具有相同的副本。

2 当代并行计算机系统介绍

跳过第 2 章, 它的内容与第 1 章存在大量重复。

3 并行计算性能评测

3.1 并行计算机的一些基本性能指标 (2019 年 7 月 5 日)

3.1.1 CPU 和存储器的某些基本性能指标

名称	符号	含意	单位
机器规模	n	处理器的数目	
时钟速率	f	时钟周期长度的倒数	MHz
工作负载	W	计算操作的数目	Mflop
顺序执行时间	T_1	程序在单处理机上的运行时间	s (秒)
并行执行时间	T_n	程序在并行机上的运行时间	s (秒)
速度	$R_n = W/T_n$	每秒百万次浮点运算	Mflops
加速	$S_n = T_1/T_n$	衡量并行机有多快	
效率	$E_n = S_n/n$	衡量处理器的利用率	
峰值速度	$R_{peak} = nR'_{peak}$	所有处理器峰值速度之积	Mflops
顺序峰值速度	R'_{peak}	单个处理器的峰值速度	Mflops
利用率	$U = R_n/R_{peak}$	可达速度与峰值速度之比	
通信延迟	t_0	传送 0-字节或单字的时间	μs
渐进带宽	r_{inf}	传送长消息的通信速率	MD/s

3.1.2 通信开销测量方法

1. 乒-乓方法: (Ping-Pong Scheme) 适用于一对节点之间通信开销的测量。
2. 热土豆法: (Hot-Potato), 也称作救火队法 (Fire-Brigade), 适用于测量多个节点 (两个以上) 以环形方式通信, 数据包传递一圈的通信开销。

理论点到点通信开销 $t(m)$ 是消息长度 m (字节) 的线性函数:

$$t(m) = t_0 + m/r_{inf}$$

其中 t_0 是通信启动时间 (μs), r_{inf} 是渐进带宽 (MB/s)。

3.1.3 机器的成本、价格与性能/价格比

内容比较零碎, 跳过。

3.2 加速比性能定律 (2019 年 7 月 6 日)

3.2.1 Amdahl 定律

3.2.2 Gustafson 定律

3.2.3 Sun 和 Ni 定律

4 并行算法的设计基础

出于 PAC 比赛的需求, 暂时先跳过第三章。

4.1 并行算法的基础知识

4.2 并行计算模型

4.2.1 PRAM 模型

即并行随机存储机器 (Parallel Random Access Machine, PRAM), 是一种抽象的并行计算模型。在这种模型中, 假定存在着一个容量无限大的共享存储器; 有多个同构处理器; 在任何时刻各处理器均可通过共享存储单元相互交换数据。根据对处理器读写时序的限制, 又可分类为:

1. 不允许同时读和同时写 (Exclusive-Read and Exclusive-Write) 的 PRAM 模型, 记作 **PRAM-EREW**。
2. 允许同时读不允许同时写 (Concurrent-Read and Exclusive-Write) 的 PRAM 模型, 记作 **PRAM-CREW**。
3. 允许同时读和同时写 (Concurrent-Read and Concurrent-Write) 的 PRAM 模型, 记作 **PRAM-CRCW**。

不过, 允许同时写显然是不现实的, 所以对 PRAM-CRCW 模型做了进一步的约定:

1. **CPRAM-CRCW**: 公共的 PRAM-CRCW, 只允许所有的处理器同时写相同的数。

2. **PPRAM-CRCW**: 优先的 PRAM-CRCW，只允许最优先的处理器先写。
3. **APRAM-CRCW**: 任意的 PRAM-CRCW，允许任意处理器自由写。