

Parallel processing, introduzione didattica

di Giuseppe Cardinale Ciccotti

Gli attuali computer sono adeguati per moltissime attività anzi per alcune di queste si fa uso di macchine di gran lunga più potenti di quanto serve, in una filosofia di mercato discutibile. Tuttavia proprio in quelle applicazioni dove l'impatto dell'informatica potrebbe essere più determinate e rivoluzionario, le potenze di calcolo delle macchine oggi disponibili risultano insufficienti. Basti pensare che le previsioni del tempo potrebbero essere molto precise e più a lungo termine di quanto non lo siano oggi se soltanto fosse possibile computare il modello fisico del sistema meteo. I supercomputer come il Cray possono soltanto fare previsioni a brevissimo termine e con una precisione limitata. Anche tutte le attività dove è prevista la manipolazione di grandi masse di dati e/o in tempi molto brevi, hanno necessità di macchine molto veloci. Quando si devono, per esempio, produrre delle animazioni tridimensionali con rendering fotorealistico, con tecniche di ray-tracing magari, è indispensabile ricorrere a supercomputer se si hanno esigenze di real-time. I supercomputer hanno ovviamente elevatissimi costi di acquisto e gestione, inoltre le loro strutture sono talmente complesse che non è possibile prevedere per essi un rapido calo dei costi. Di conseguenza applicazioni personali o compartimentali che richiedano tali potenze di calcolo non potranno essere soddisfatte per ragioni di costo. Fino ad oggi l'incremento delle prestazioni dei computer è stato ottenuto con un progressivo incremento della velocità di clock; esistono comunque delle limitazioni costruttive all'impiego di clock molto veloci, senza dimenticare che tutto ciò è fatto a spese della riduzione delle giunzioni di silicio e che al di sotto di certe dimensioni quest'ultimo non mantiene le caratteristiche di un semiconduttore. Tutte queste ragioni spingono ricerche intese a superare tali limitazioni; mentre si sperimentano nuovi materiali come l'arsenurio di gallio o si costruiscono le prime logiche ottiche,

parallelamente si prova a cercare nuove soluzioni sperimentando approcci alternativi al progetto delle architetture dei microprocessori e dei sistemi. In questo contesto il calcolo parallelo si offre come un'ottima soluzione perché consente di ottenere alte prestazioni fruendo di tecnologia corrente, perciò a costi accettabili. Tuttavia il prezzo da pagare sta, come vedremo, in un generale cambiamento della maniera di considerare il sistema di calcolo.

Parallel processing

Diamo ora una definizione di parallel processing che ci servirà come punto di partenza:

parallel processing è una forma efficiente di elaborazione delle informazioni che fa uso di eventi concorrenti nel calcolo del processo stesso. Concorrenza implica parallelismo, simultaneità e pipelining. Eventi paralleli si hanno in multiple risorse durante gli stessi intervalli di tempo; eventi simultanei sono azioni che avvengono negli stessi istanti; eventi in pipeline si sovrappongono negli stessi intervalli di tempo.

Bisogna notare che con il termine intervallo si intende un lasso di tempo durante il quale si completano uno o più

eventi, con il termine istante invece si indica un preciso momento (ad esempio un determinato ciclo di clock) nel quale gli eventi avvengono. Un esempio aiuterà a chiarire questo punto: consideriamo un monitor e una stampante collegati ad uno stesso PC mentre gira un qualsiasi word processor. Dato il comando di stampa, possiamo verificare che accadono due eventi: è attivata la stampante e il monitor continua a visualizzare il documento. Questi due eventi avvengono nello stesso intervallo di tempo ma non nei medesimi istanti (almeno non necessariamente), dunque sono eventi paralleli, ma non simultanei. Se invece il word processor generasse un echo sul video, per esempio scrivesse «LF» in corrispondenza ad ogni cambio riga della stampante, questi due eventi sarebbero simultanei oltretutto paralleli. I lettori più pignoli obietteranno che ciò non è assolutamente corretto ma in prima approssimazione l'esempio è sufficiente a chiarire il concetto. Per pipeline si intende la nota «catena di montaggio» come illustrata in figura 1. Le varie parti di un sistema (gli eventi) sono assemblate successivamente da diverse unità; mentre la i -esima esegue il suo compito sulla k -esima componente, la $i-1$ esima unità (la precedente nella catena) esegue il proprio sulla $k+1$ esi-

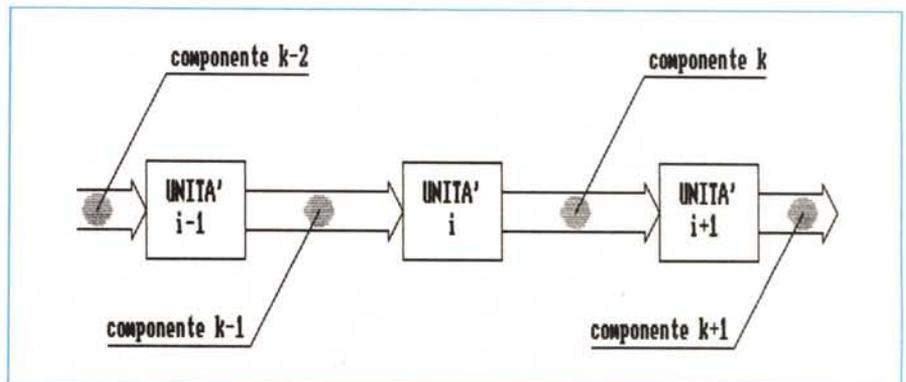


Figura 1 - Architettura pipeline; da notare il flusso dei dati attraverso i vari stadi.

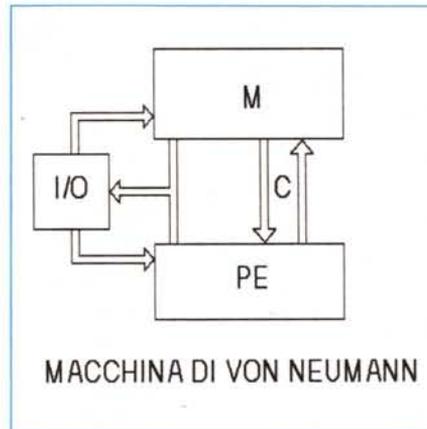


Figura 2 - Macchina di Von Neumann. Il canale di comunicazione C costituisce il «collo di bottiglia» del sistema.

ma componente, la $i+1$ esima sulla k -1esima e così via negli stessi intervalli di tempo.

Gli eventi possono essere posti a vari livelli nel sistema di calcolo.

Ci sono 4 livelli fondamentali:

- Livello programma
- Livello procedura
- Livello interistruzione
- Livello intraistruzione

Nel primo livello il parallel processing è ottenuto tramite un insieme di programmi che possono essere portati a termine su più CPU oppure su un'unica CPU, ad esempio in time sharing o con qualunque altro sistema opportuno. In questo livello si richiede un programma di gestione efficiente delle risorse che consenta di sfruttare il parallelismo possibile.

Nel secondo livello il parallel processing è raggiunto dividendo il programma in task (gli utenti Amigados ricordino che in tale sistema operativo un processo è erroneamente chiamato task!) eseguiti parallelamente; è necessario perciò scomporre il programma in segmenti di programma indipendenti.

Nel terzo livello il parallelismo viene ottenuto eseguendo concorrentemente diverse istruzioni, ciò comporta un'analisi dei dati per rivelare questo parallelismo.

Nel quarto livello si ottiene parallelismo eseguendo più operazioni, componenti una stessa istruzione contemporaneamente.

Bisogna notare come nel primo livello il parallelismo è ottenuto via software mentre nell'ultimo è totalmente hardware. L'incidenza dell'hardware cresce

locità nella trasmissione di dati tende ad avvicinare questi due aspetti; al limite un processo distribuito può essere visto come un processo parallelo in un ambiente speciale. Ad esempio un programma di gestione di una rete è un processo (o più processi) che interessa più risorse (quelle attive sulla rete) che possono essere connesse in maniere diverse.

Architettura Von Neumann

In figura 2 potete vedere uno schema minimo di architettura di una macchina di calcolo; in effetti sono necessarie solo poche cose: un processore PE, una memoria M, un dispositivo di input/output I/O ed un canale di comunicazione C che unisca M e PE. Questo modo di organizzare la struttura è detto di Von Neumann, dallo scienziato che per primo ne ipotizzò la struttura. Il PE contiene sia la logica di controllo che quella di calcolo, la memoria M i dati iniziali, i dati temporanei e il programma da eseguire, il dispositivo I/O è un canale da

Bibliografia

Hwang K., Briggs F. «Computer architecture and parallel processing», Mc Graw-Hill, 1988.

Kung S.Y., Lo S.C., Jean S.N., Hwang J.N. «Wavefront array processors. Concept to Implementation», IEEE Computer, Luglio 1987, pp. 18-33.

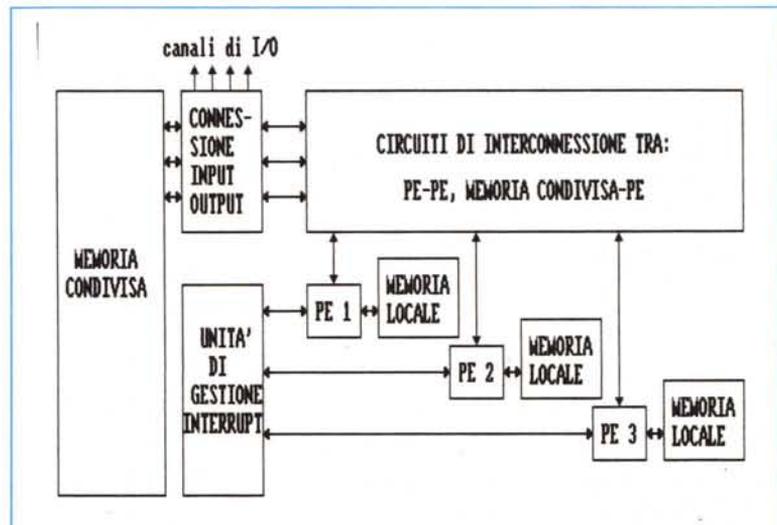


Figura 3 - Schema funzionale di un sistema multiprocessore.

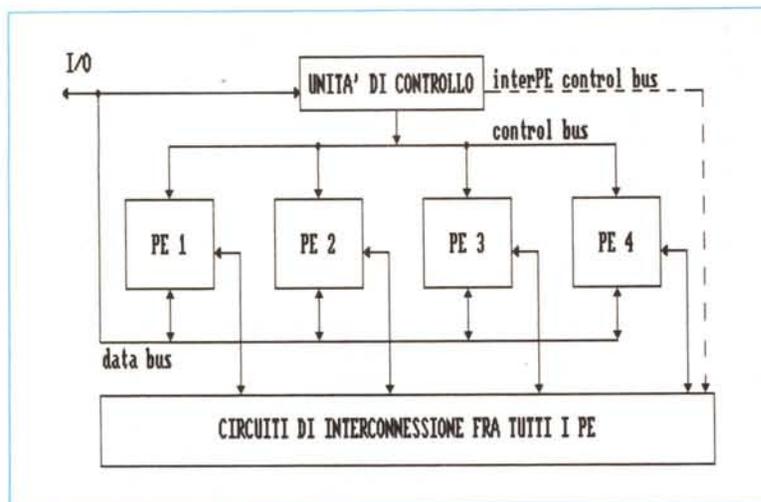


Figura 4 - Array processor. L'unità di controllo esegue le parti seriali del programma, attiva i PE dell'array e le connessioni fra di essi.

cui sono prelevati dati su cui eseguire calcoli e su cui sono depositati i risultati delle elaborazioni.

Quando il PE deve eseguire una operazione, preleva il primo operando dalla memoria o dal dispositivo di ingresso poi preleva il secondo, esegue l'operazione e deposita il risultato nel dispositivo di uscita o nella memoria.

Naturalmente si intuisce che se si potessero prelevare i due operandi contemporaneamente si risparmierebbe un ciclo d'accesso e tutta l'operazione risulterebbe più veloce. Questo però può essere possibile soltanto se i dispositivi o la memoria hanno una larghezza di banda, vale a dire il numero di dati elaborati per unità di tempo, sufficiente a fornire i dati insieme in un ciclo di accesso cioè facciano due prelievi. Ciò può essere facilmente ottenuto, basta, ad esempio, porre due memorie in parallelo e prelevare i dati da esse simultaneamente. Inoltre è chiaro che dovrei raddoppiare il canale di comunicazione. La limitazione della architettura Von Neumann è proprio questa: il canale di comunicazione costituisce il collo di bottiglia del sistema. Vedremo perciò come qualsiasi macchina che fa uso di parallelismo risolva questo problema disponendo in qualche maniera di canali multipli per l'accesso dei dati.

L'architettura Von Neumann è sicuramente la più diffusa ed è valida a livello logico e fisico, a livello di sistema come di microprocessore, anche se proprio questi ultimi hanno introdotto le innovazioni più consistenti.

Concetti fondamentali

Dopo aver brevemente introdotto la architettura di base, vediamo quali sono i concetti fondamentali per introdurre il calcolo parallelo. Possiamo evidenziare tre aspetti:

- Multiprocessing
- Array processing
- Pipeline processing

Ognuno di questi concetti presuppone l'utilizzo di due o più processori, organizzati in maniera opportuna, con l'obiettivo di ottenere prestazioni nel complesso superiore rispetto ad un sistema con un unico processore dello stesso tipo. Prestazioni significa fondamentalmente velocità di produzione degli output richiesti. Questo parametro è indicato come speed-up rispetto ad uno stesso algoritmo:

$$\text{SPEED-UP} = \frac{\text{velocità calcolo parallelo}}{\text{velocità calcolo seriale}}$$

È sicuramente il parametro più significativo per capire quanto può essere efficiente una macchina parallela su quel problema.

Come è stato già messo in evidenza in precedenti articoli di questa rubrica, quando si processano informazioni, quasi mai ci si imbatte in relazioni lineari; anche in questo caso, un sistema multiprocessore, poniamo con 2 PE (processor element), esibisce uno speed-up inferiore a 2. Vediamo la ragione di questa inaspettata inefficienza. Il motivo dipende dal fatto che la quasi totalità

degli algoritmi che possiamo trovare è composta da una parte parallela e una strettamente seriale. L'esecuzione di questa parte dell'algoritmo avviene su un solo PE, ottenendo perciò nella migliore delle ipotesi uno speed-up=1; se anche sul resto del programma si ottenesse un parallelismo completo con speed-up=2, lo speed-up totale sarebbe ovviamente inferiore a 2. Inoltre i PE avranno necessità di sincronizzarsi in qualche maniera, passandosi dati e/o segnali, ciò comporterà un aumento dei tempi di calcolo dovuto alle comunicazioni e un conseguente abbassamento dello speed-up.

Da questo esempio banale si evince come sia difficile tracciare un algoritmo parallelo efficiente, dove siano minimizzati i segmenti seriali ed evidenziate le concorrenze.

Chiarimo meglio gli aspetti delle tre categorie fondamentali introdotte, che verranno poi approfondite negli articoli che seguiranno.

Un sistema Multiprocessor, figura 3, ottiene un *parallelismo asincrono* attraverso un insieme di processori con risorse condivise (memorie, periferiche, etc.).

Un Array processor, in figura 4, usa PE multipli sincronizzati per raggiungere un *parallelismo spaziale*.

Caratteristica di un sistema Pipeline è di eseguire operazioni «sovrapposte» nel tempo con un *parallelismo temporale*.

Questi approcci al progetto di un computer parallelo non sono mutualmente esclusivi; non è raro vedere strutture organizzate ad array processor o multiprocessor che facciano uso di PE che adottano nel loro interno pipeline, visto che ormai quasi tutti i processori moderni come MC68030, i80860, AM29000 fanno uso di questo schema. Ciò è possibile perché il parallelismo può essere risolto a più livelli e, cosa assai interessante, può coesistere.

A queste tre classi bisogna aggiungere le architetture Data-flow che seguono un concetto nuovo e diverso nell'approccio alla computazione e le architetture parallele VLSI che tentano di ridurre a basso livello i problemi di parallelismo in maniera trasparente. Tali categorie saranno analizzate successivamente.

In questa serie di articoli verranno trattate le macchine ad architettura non-Von Neumann; i problemi hardware e software che si presentano a chi intende superare i limiti imposti dai computer oggi disponibili.

WARE BIT

FAX MURATA M3

- «» 50 numeri in memoria
- «» Display per informazioni
- «» Telefono incorporato

Tutto compreso £. 1.350.000

FAX FUJITSU DEXTEN

- «» 2 anni di garanzia
- «» 16 toni di grigio
- «» risposta automatica o manuale

Tutto compreso £. 1.950.000

DESKTOP PUBLISHING

Stampante Laser : Mannesman o Citizen 512 Kb 6 ppm.
+ Software : FINESSE della Logitech
+ Mouse : GM-6000 della Genius

A sole..... £. 2.950.000

Scanner Genius GM4000 400 Dpi.....£. 299.000
Tavola grafica Genius GT1212£. 580.000
Scanner Logitech + Software Image.....£. 990.000
Mouse GM6000 + Software.....£. 85.000
Software OCR's.....£. 300.000

Personal Computer

APPLE - ASEM - BONDWELL - CITIZEN - COMPAQ
EPSON - HONEYWELL - PHILIPS
QUADRAM - SHARP - TOSHIBA - WYSE

XT V20 10 MHz 512Kb 1x360Kb(Fujitsu) Hercules/CGA Serie-
le Parallela Orologio Interfaccia mouse Interfaccia Joystick
Monitor Monoc. 12" bi-frequenza Tastiera Ital. 101 tasti.
Tutto compreso.....£. 899.000

AT 286 16MHz operativi 21MHz 1Mb expand. 4Mb su piastra
gestore integrato per memoria LIM EMS Shadow ram per
Bios Cache memory 64K controller per 2FD e 2HD con in-
terleave 1:1 1x1,2Mb(Fujitsu) HD20Mb(Seagate) 2 seriali
2 parallele scheda video a scelta Monitor monoc. 12" bi-fre-
quenza Tastiera Ital. 101 tasti.
Tutto compreso.....£. 1.850.000

AT 386 20MHz 0WS 2Mb ram 1 slot 32 bit Controller per 2FD e
2HD con interleave 1:1 Cache memory 64 Kb 1x1,2Mb
(Fujitsu) HD20Mb(Seagate) scheda video a scelta Monitor
monoc. 12" bi-frequenza Tastiera Ital. 101 tasti.
Tutto compreso.....£. 2.850.000

AT 286 TRASPORTABILE

16Mhz 512Kb Display retroill. 640x200 1 Parallela 1 Seriale
1x1,2M(Fujitsu) HD20Mb(Seagate) Tast. Ital. 86 tasti.
Tutto compreso.....£. 2.150.000

• **TUTTE LE CONFIGURAZIONI DISPONIBILI** •

STAMPANTI

- «» Laser Star P8 8ppm.....£. 2.498.000
- «» Laser Panasonic 11ppm.....£. 2.990.000
- «» Nec P2200.....£. 599.000
- «» Star LC24-10£. 599.000
- «» Citizen SWIFT 24£. 599.000
- «» Star LC24-15.....£. 850.000

EPSON - PANASONIC - SHARP
MANNESMAN - KYOCERA - PHILIPS

TUTTI I MODELLI SUL MERCATO

SETTORE CAD

- «» Plotter Roland
 - «» Plotter Benson/Océ
 - «» Plotter Mutoh
 - «» Plotter da taglio per vinili
 - «» Digitalizzatori di tutti i formati
 - «» Stampanti grafiche speciali
 - «» Workstation complete
 - «» Monitor e Schede speciali
- «» VGA 800x600£. 299.000
«» Nec 3D£. 1.290.000
«» Monitor monoc. VGA.....£. 348.000

CONSULENZA GRATUITA

- «» Scheda Fax Quadram£. 700.000
- «» Modem 300/1200 GVC£. 150.000
- «» Schede modem
- «» Reti locali da 2 a 100 posti lavoro

SETTORE SOFTWARE

DOS - UNIX - XENIX - APPLE

Tutte le migliori marche a prezzi eccezionali

- «» Ast
- «» Borland
- «» Life Boat
- «» Microsoft
- «» Ashon-Tate
- «» Digital Research
- «» Lotus
- «» Samna

Gestione Studio Legale
Contabilità Generale Fatturazione Magazzino
Gestione Studio Medico

SOFTWARE PERSONALIZZATO
CORSI DI APPRENDIMENTO

CONDIZIONI DI VENDITA

- «» Pronta consegna
- «» Iva esclusa
- «» 12 mesi di garanzia
- «» Spedizioni in tutta Italia con corriere nazionale

ASSISTENZA

- «» Si eseguono riparazioni su qualsiasi hardware a prezzi eccezionali

INTERVENTI RAPIDISSIMI

WARE BIT - Viale Pasteur, 70 - 00144 ROMA

TEL. (06) 5915324 - 5918307 - 5919445 - Fax 5923025 - Telex 616267 EURVA I

HOT LINE (06) 5912826

- Si ricercano agenti per tutta l'Italia -