

3 SUPERCALCULATOARE ȘI MICROPROCESOARE

3.1 Supercalculatoare

Problemele depășirii capacității de calcul generate de volumul mare al operațiilor aritmetice din cadrul unor discipline de studiu (meteorologie, dinamica fluidelor, aerodinamică, analiza structurilor, microelectronică, fizica particulelor, chimia moleculară, matematici aplicate, simularea numerică a sistemelor, prelucrarea imaginilor etc.) necesită creșterea vitezei de execuție a unității centrale, sau distribuirea calculului pe mai multe procesoare care lucrează în paralel.

Dezvoltarea sistemelor de calcul vizează asigurarea creșterii performanțelor și miniaturizarea.

Supercalculatoarele [supercomputers] sunt acele sisteme de calcul cu performanțe deosebite, destinate în special aplicațiilor științifice și tehnice avansate, spre deosebire de modelele comune și mai răspândite, în general afectate aplicațiilor care nu solicită calcule numerice foarte pronunțate.

La cealaltă extremitate a gamei de sisteme de calcul se situează **microcalculatoarele** care au la bază microprocesoare, iar adițional, pot să conțină: coprocesoare matematice, memorii cache, funcții diverse de comunicare și de intrare/ieșire.

Microcalculatoarele sunt fabricate în cantități mari și oferă performanțe deosebite și la prețuri relative scăzute.

În contextul sistemelor de calcul, conceptul de **paralelism** semnifică faptul că mai multe acțiuni se pot derula simultan, într-o manieră concurențială. De aceea, prin creșterea gradului de paralelism al mașinii de calcul va crește și capacitatea sa de prelucrare, dar mașina devine mai complexă și mai dificil de programat. Deși sistemele care conferă un grad ridicat de paralelism sunt doar rareori exploatate într-un procentaj maxim, totuși majoritatea aplicațiilor pot profita, chiar și într-o mai mică măsură de arhitectura paralelă a sistemului.

Evaluarea performanțelor sistemelor de calcul

Sistemele de calcul sunt clasificate în funcție de capacitatea de memorare și performanțele de calcul. Evaluarea capacității se realizează prin contorizarea numărului de cuvinte de memorie în megocteți, gigocteți etc. Evaluarea performanțelor de calcul este mai complexă, și este condiționată, din punctul de vedere al utilizatorului de timpul de execuție a programelor.

Pentru evaluarea performanțelor sistemelor de calcul sunt elaborate programe de test [benchmarks], dar nu se poate asigura standardizarea lor.

Totuși, s-a realizat o regrupare a constructorilor de sisteme de calcul numită SPEC [System Performance Evaluation Cooperative] cu scopul de a defini măsuri standard de evaluare, concretizate în elaborarea un număr de aproximativ zece programe de test scrise în limbajele de programare Fortran și C.

Evaluarea propriu-zisă se realizează prin raportarea timpilor de execuție a programelor pentru diverse tipuri de mașini la timpul de referință (timp de execuție pe un sistem VAX11/780), obținându-se un **SPEC_ratio** pentru fiecare program, iar media aritmetică a tuturor acestor valori se exprimă printr-un **SPEC_mark**.

Pentru procesoare se utilizează următoarele unități de măsură standard:

- **MIPS**: milioane instrucțiuni pe secundă;
- **FLOPS**: caracterizează reprezentarea în virgulă mobilă a informațiilor. Se utilizează MFLOPS (MegaFlops), GFLOPS (GigaFlops), TFLOPS (TeraFlops);
- **SPEC**.

Aceste măsurători furnizează indicatori mai mult teoretici, alegerea unui sistem de calcul se face în realitate în funcție de gradul de satisfacere al necesităților aplicațiilor destinate.

Exemple de supercalculatoare

Se pot distinge două categorii de supercalculatoare:

- supercalculatoare **vectoriale**: procesorul este capabil să lucreze asupra vectorilor de date;
- supercalculatoare **multiprocesoare**.

Cei mai reprezentativi constructori de supercalculatoare vectoriale sunt: Cray în SUA, Fujitsu, Hitachi și Nec în Japonia.

Primul supercalculator vectorial a fost Cray-1 (monoprosesor de 10 MIPS și 160 MFLOPS) realizat în 1976 de Seymour Cray. În 1980 s-au comercializat Cray-XMP și Cray-2 având până la patru procesoare, fiecare procesor fiind capabil de câte 25 MIPS și 450 MFLOPS. Cray-3 și seria YMP confirmă tendința către microprocesoare, memorii centrale de mare capacitate. La concurență cu Cray, NEC produce SX-3, care depășește 25 GFLOPS cu cele patru procesoare ale sale.

Mașinile paralele care reprezintă singura direcție de cercetare care propune atingerea TFLOPS (mii de miliarde de operații în virgulă mobilă pe secundă) sunt reprezentate de constructorii americani (TMC [Thinking Machine Corporation], Intel, Cray, IBM), japonezi (Fujitsu) și cei europeni (Kendall Square Research, Meiko, Telmat, ACRI, Archipel). De exemplu, compania TMC lansează CM-200 având 4000-64000 procesoare de 1 bit și CM-5 având 32-8000 procesoare pe 32 sau biți.

Pipelining

Pipelining este tehnica care permite efectuarea mai multor activități în unitatea de timp, atunci când trebuie repetată o operație asupra unui număr mare de operanzi, prin segmentarea operației complexe într-o secvență de acțiuni mai simple, fiecare acțiune simplă fiind realizată de către un dispozitiv particular.

În acest context, în loc să fie concepută o unitate S, capabilă să efectueze operația P într-un interval de timp T, se va diviza operația P în segmentele P₁, P₂, P₃, ..., executate de către subunitățile S₁, S₂, S₃, ... în intervalele de timp T₁, T₂, T₃, ..., fracțiuni ale timpului T.

Când lanțul [pipeline] este complet încărcat, adică toate subunitățile sunt ocupate, începe furnizarea rezultatelor într-un ritm mult mai ridicat decât în cazul unei unități nesegmentate.

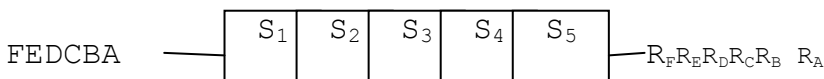
Prin utilizarea acestei tehnici nu crește viteza de execuție a unei operații, doar se produc mai multe rezultate pe secundă, furnizând în mod continuu operanzi la intrare pentru pipeling.

De exemplu, în cazul unei adunări în virgulă flotantă se poate segmenta operația în cinci părți corespunzând unui număr de cinci stații de lucru, afectate operațiilor următoare:

- compararea exponenților;
- interschimbarea mantiselor (dacă este cazul);
- decalarea mantiselor;
- adunarea mantiselor;
- normalizarea rezultatului.

După cum se vede și în figura următoare (A, B, C, D, E și F sunt operații de efectuat iar R_A, R_B, R_C, R_D, R_E, R_F, rezultatele acestor operații), debitul rezultatelor este cam de *n* ori mai mare în cazul unei unități operaționale divizate în *n* părți decât pentru o unitate nesegmentată.

Secțiuni de pipeling	Rezultate											
					R _A	R _B	R _C	R _D	R _E	R _F		
S5					A	B	C	D	E	F		
S4				A	B	C	D	E	F			
S3			A	B	C	D	E	F				
S2		A	B	C	D	E	F					
S1	A	B	C	D	E	F						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Time



Tehnica pipeling se poate aplica și altor dispozitive în afara celor de calcul. De exemplu, secțiunea unității de comandă care tratează instrucțiunile poate fi organizată în pipeling, segmentând ciclul de căutare și ciclul de execuție a instrucțiunii într-o secvență de acțiuni, care se pot reacoperi în timp, după cum urmează:

- căutarea în memoria centrală a instrucțiunii următoare;
- decodificarea codului operației;
- căutarea operandului;
- activarea secvențatorului;
- efectuarea operației;
- incrementarea registrului CO cu o unitate.

Procesoare scalare și vectoriale

Tehnica pipeling deschide calea prelucrării sistematice a blocurilor de date numite și **vectori** [vectors]. Un vector este o variabilă având mai multe valori.

Se numește **procesor vectorial** [vector procesor] o unitate de execuție (UAL) organizată pentru a efectua operații asupra vectorilor, operațiile sunt declanșate printr-o instrucțiune vectorială care face parte din setul de instrucțiuni al mașinii.

Un procesor se numește **scalar** dacă el nu poate executa decât instrucțiuni al căror efect se limitează la valorile scalare (care au o singură valoare).

Pentru a putea fi eficient, un procesor vectorial trebuie să dispună de blocuri de registre ultra-rapide și într-un număr suficient pentru a calcula și depune rezultatele intermediare din pipeling (adesea se procedează la înlănțuirea pipeling-urilor).

Procesoarele superscalare sunt procesoare capabile să execute în paralel un număr mic de instrucțiuni (2 – 5) (de exemplu: Alfa produs de DEC sau IBM RS 6000), asigurând o simultaneitate reală a operațiilor. Performanța mașinilor superscalare depinde mult de compilator, care trebuie să fie capabil să găsească suficiente instrucțiuni ce se pot executa în paralel.

Abordarea **VLIW** [Very Long Instruction Word] constă în plasarea mai multor instrucțiuni executabile într-un cuvânt de memorie de talie suficient de mare (peste 100 de biți). Unul dintre primele microprocesoare care a utilizat această tehnică este i860 al firmei Intel care are instrucțiuni de lungime 128 de biți.

Mașini paralele

Progresul tehnologic permite astăzi realizarea unor arhitecturi cu un foarte înalt nivel de paralelism, cu sute sau chiar mii de procesoare. Aceste mașini sunt supercalculatoarele care, pentru anumite aplicații pot să ofere posibilități de atingere a unor performanțe remarcabile.

Ideea care stă la baza oricărui calculator paralel este distribuirea activităților necesare rezolvării unei probleme pe mai multe procesoare făcând parte din aceeași mașină, deoarece majoritatea programelor se rulează, de obicei în secvență, existând blocuri de instrucțiuni total independente care ar putea fi executate simultan.

Aceasta presupune un nou stil de programare și o complexitate deosebită la nivel software. În acest context, anumite probleme, cum sunt cele din matematicile aplicate, prelucrarea imaginilor sau fizică posedă un bun nivel de paralelism natural și pot fi adaptate ușor la prelucrarea paralelă.

În concluzie, există la ora actuală suficiente instrumente diferite și destul de complementare destinate rezolvării unor probleme complexe:

- mașini scalare puternice care execută instrucțiunile în secvență potrivit principiilor lui von Neumann (în ultimii 45-50 de ani);
- procesoare vectoriale foarte puternice, capabile să rezolve probleme dificil sau chiar imposibil de rezolvat cu procesoarele scalare (în ultimii 20-25 de ani);
- mașini paralele cu enorma capacități de calcul distribuite pe un număr mare de procesoare (în ultimii 10-15 ani).

3.2 Paralelism

Se poate face distincție între mai multe forme de paralelism:

- **paralelism intern**, în interiorul unui calculator clasic, care se poate prezenta sub trei forme:
 - paralelism prin **duplicare**: se poate realiza o simultaneitate reală a anumitor operații sau acțiuni prin multiplicarea dispozitivelor afectate (de exemplu: sumatoare binare, bus-uri multilini pentru transferuri paralele, memorie pe bază de blocuri independente întreșesute etc.);
 - paralelism prin **anticipare**: se realizează creșterea performanțelor prin efectuarea unor acțiuni susceptibile să reducă timpul de așteptare al unei unități critice (de exemplu: reacoperirea acțiunilor în pipeling, dotarea CPU cu antememorie, transfer de date între periferic și memorie în vederea prelucrării ulterioare etc.);

- paralelism prin **multiplexare**: mai multe unități lente sunt deservite de către o unitate rapidă, situație în care se realizează o simultaneitate aparentă (de exemplu: sistemele utilizate în timp partajat [time sharing]).
- **paralelism extern**, care presupune utilizarea mai multor procesoare între care există o anumită interdependență. Clasificarea lui Flinn cu privire la evoluția paralelismului extern evidențiază următoarele arhitecturi:
 - **SISD** [Single Instruction Single Data stream]: este mașina von Neumann strict secvențială și care nu este prevăzută cu paralelism extern. A posedă o singură unitate de comandă care tratează o singură secvență de instrucțiuni [Single Instruction stream] și o singură unitate de execuție (UAL) care tratează o singură secvență de date [Single Data stream];
 - **SIMD** [Single Instruction Multiple Data streams]: sunt mașini care posedă o unitate de comandă unică dar mai multe unități de execuție. Toate procesoarele execută aceeași instrucțiune simultan. În această categorie se pot clasa procesoarele vectoriale care execută aceeași instrucțiune asupra tablourilor de elemente;
 - **MIMD** [Multiple Instructions Multiple Data streams]: se pot clasa în această categorie multiprocesoarele, unde fiecare procesor execută un program diferit și de asemenea, mașinile paralele în care toate procesoarele lucrează asupra unei singure probleme;
 - **MISD** [Multiple Instructions Single Data stream]: s-a prevăzut o asemenea arhitectură din motive de simetrie, dar nu s-a realizat nici-un exemplar din aceasta categorie.

Se poate remarca faptul că majoritatea tehnicilor care vizează creșterea performanțelor (de exemplu: pipeling, antememorie etc.) nu se adresează în mod direct unui utilizator concret (**paralelism transparent**).

Există de asemenea **paralelism vizibil**, care necesită colaborarea utilizatorului (de exemplu: mașini vectoriale și paralele).

3.3 Microprocesoare

Un **microprocesor** este un circuit integrat care realizează o unitate de prelucrare completă (unitate de comandă + UAL).

Un **microcalculator** este un ansamblu microprocesor + memorie + intrări / ieșiri + echipamente periferice.

Cei doi mari constructori: Intel și Motorola au asigurat o evoluție asemănătoare pentru microprocesoarele clasice.

Prin comparație cu marile sisteme de calcul, microcalculatoarele oferă următoarele caracteristici generale:

- aplicarea strictă a principiului arhitectural von Neumann;
- viteză de calcul comparabilă;
- memorii de capacitate mai redusă;
- dispozitive de intrare / ieșire și periferice mai puțin performante.

Un microcalculator conține următoarele elemente componente:

- **microprocesor**, care este CPU-ul său;
- **memoria**, care poate fi de tip RAM, pentru înregistrarea datelor, rezultatelor intermediare și finale sau de tip ROM, unde sunt înregistrate instrucțiuni, constante, rutine de bibliotecă etc.;
- **intrările/ieșirile** care conțin registre tampon și circuite de interfață care permit **unităților periferice** să comunice cu sistemul;
- **bus-ul de date** permite transferul informațiilor în cele două sensuri. Într-un microcalculator pe 8, 16, 32, 64, 128 biți bus-ul va avea 8, 16, 32, 64, 128 linii;
- **bus-ul de adrese** este unidirecțional, el procesorul pentru adresarea memoriilor și a registrelor tampon de interfață cu perifericele (exemplu: un bus de adrese cu 16 linii poate transporta $2^{16} = 65536$ adrese diferite);
- **bus-ul de comenzi** transportă semnalele utilizate pentru a sincroniza diversele activități care se desfășoară în unitatea funcțională a microcalculatorului (exemplu: semnale se ceas intern, semnale de citire, semnale de scriere, semnale de întrerupere etc.).

Calculator personal și stație de lucru

Pentru configurarea unui microcalculator în **calculator personal** este suficientă adăugarea unor unități periferice adaptate interacțiunii om-mașină (de exemplu: o tastatură, un ecran de vizualizare, o imprimantă, un mouse etc.). Constructorii oferă de asemenea o largă gamă de memorii auxiliare pentru stocarea fișierelor: hard-discuri magnetice sau optice, cititoare de discuri etc.

Trecerea de la calculator personal la **calculator profesional** sau **stație de lucru** [work-station] necesită un CPU mai rapid, memorie de mare capacitate, ecran grafic color sofisticat și produse software corespunzătoare.

Microcalculatoarele cunosc la ora actuală un mare succes ca stații de lucru sau calculatoare personale deoarece sunt mașini polivalente suficient de puternice pentru rezolvarea problemelor curente, care posedă produse software de tip editoare de texte, tabelatoare, sisteme de gestiune de baze de date etc. Legarea în rețea a unor astfel de mașini de calcul facilitează partajarea datelor între mai mulți utilizatori concurenți.

Microcalculatorul care a revoluționat lumea informatică este cel conceput și dezvoltat de firma IBM, numit **Personal Computer** sau amai simplu IBM PC care a apărut în 1981.

Datorită succesului repurtat de această mașină, s-au realizat mașini similare identificate ca PC compatibile IBM, sau mai simplu PC.

Toate aceste calculatoare PC se bazează pe microprocesoare Intel. Până la sfârșitul anilor '80 sistemul de operare al acestor mașini este DOS [Disk Operating System] realizat de firma Microsoft. Acesta este un sistem de operare simplu, bazat pe o interfață de tip text și a cărui utilizare solicită cunoașterea unui limbaj informatic specific.

La sfârșitul anilor '80 a apărut un nou sistem de operare, **Windows**, bazat pe o interfață utilizator-grafică mult mai prietenoasă, similară cu cea a calculatoarelor Macintosh ale firmei Apple.

Interfața utilizator-grafică [GUI: Graphical User Interface] utilizează ferestre, meniuri, pictograme și privilegiază utilizarea mouse-ului.

În timp ce stațiile de lucru au o "vocație" mai științifică, calculatoarele Macintosh și PC se adresează publicului larg.

Tendința actuală în domeniul microcalculatoarelor este aceea de realizare a **mașinilor multimedia**, care oferă posibilitatea prelucrării unor tipuri diferite de informații (de exemplu: date, sunet, imagini fixe sau animate).

Cei mai reprezentativi constructori de pe piața stațiilor de lucru sunt: Sun Microsystems, IBM, HP, DEC.

Cu un sistem de operare bazat pe UNIX, adesea conectate în rețea în configurații numite **clusteri de stații de lucru**, aceste stații de lucru pot realiza capacități de calcul mari și pot fi utilizate în paralel, de o manieră asemănătoare supercalculatoarelor, dar la un preț mult mai atrăgător.

Calculatoarele portabile care manifestă la ora actuală o adevărată expansiune sunt caracterizate prin dimensiuni reduse, greutate de câteva kilograme, autonomie de funcționare de câteva ore și pot fi echipate cu hard-discuri, ecrane color, fax, imprimante miniaturale etc.

În domeniul calculatoarelor portabile există două tendințe:

- **calculatoare cu tastatură** [notebook] care sunt microcalculatoare clasice care beneficiază de noile tehnologii în privința ecranului (de exemplu: cristale lichide etc.);
- **calculatoare fără tastatură** [block-notes] sau [notepads], care posedă un ecran tactil asupra căruia se poate scrie cu un creion special și un program de recunoaștere a caracterelor scrise.