

CARACTERISTICILE COMPUTĂȚIEI DE ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ High Performance Computing

Col.(r) prof.univ.cons.dr. Gruia TIMOFTE

The high-performance computing refers to the use of (parallel) supercomputers and computer clusters, which are, computing systems comprised of multiple (usually mass-produced) processors linked together in a single system with commercially available interconnects. This is in contrast to mainframe computers, which are generally monolithic in nature. While a high level of technical skill is undeniably needed to assemble and use such systems, they can be created from off-the-shelf components. Because of their flexibility, power, and relatively low cost, high-performance computing systems increasingly dominate the world of supercomputing. Usually, computer systems in or above the teraflop-region are considered high-performance computing computers.

Deși există un consens larg privind semnificația acestei tehnologii, există încă o mare diversitate de opinii. Astfel, computația de înaltă performanță este înțeleasă ca: utilizare pe scară largă a calculatoarelor pentru a aborda și a rezolva probleme tehnice importante¹; aplicare a acestora la proiecte foarte mari care solicită putere de prelucrare așa de mare încât ar fi imposibil pentru orice persoană sau calculator să le rezolve într-un timp rezonabil; referiri la probleme suplimentare, precum: memoria, cerințele de stocare, timpul de prelucrare; necesitatea unui supercalculator, cel mai puternic sistem de calculatoare din lume la momentul de referință; tehnici de prelucrare în paralel sau distribuite; set de algoritmi, mijloace tehnice (hardware) și software necesare pentru rezolvarea problemelor care solicită cel mai puternic sistem de calculatoare la momentul soluționării. În această categorie sunt incluse supercalculatoarele, precum și rețelele de calculatoare care implementează prelucrarea distribuită, având drept caracteristici definitorii viteza și lucrul în paralel².

¹ Post D.E., *The Coming Crisis in Computational Science*, Keynote Address, IEEE International Conference on High Performance Computer Architecture, Madrid, Spain, 2004, p. 127.

² Andersen, H.R., *High- Performance Computing Opportunities and Challenges for Army*, RQD, RAND, Santa Monica, California, 2006, p. 3.

Computația de înaltă performanță este, în prezent, dominată de platformele nonvectoriale. Totuși au apărut și asemenea calculatoare care au performanțe de prelucrare deosebite, astfel:

- la Departamentul pentru Energie al SUA – server cu viteză de prelucrare de $280,6 \times 10^{12}$ operații în virgulă mobilă pe secundă cu ajutorul a 131.072 procesoare;
- la IBM Thomas Watson server cu viteză de prelucrare de $91,29 \times 10^{12}$ operații în virgulă mobilă pe secundă cu ajutorul a 40.960 de procesoare.

Rețele naționale de supercalculatoare au devenit accesibile oamenilor de știință și inginerilor datorită următoarelor facilități: putere de prelucrare mai mare de 20×10^{12} operații pe secundă; rularea unor aplicații privind evoluția universului, curățarea apelor terestre contaminate, simularea evenimentelor seismice, analiza dinamicii biomoleculare etc.

Direcțiile viitoare de dezvoltare în computația de înaltă performanță sunt³:

- creșterea în continuare a puterii de prelucrare;
- îmbunătățirea lărgimii de bandă pentru memorie concomitent cu creșterea vitezei de interconectare prin arhitecturi paralele cu mii de procesoare și asigurarea unui software de înaltă performanță;
- prelucrarea vectorială care se apreciază a fi necesară pentru aplicațiile sigure de înalt nivel (de exemplu, criptanaliza și modelarea moleculară cantitativă). Asemenea procesoare se vor dezvolta deocamdată în cantități mici, iar calculatoarele vor fi realizate în configurații multiprocesor și nu cu un număr mare de microprocesoare așa cum sunt întâlnite în mașinile paralele convenționale;
- în următorii 10 ani vor apărea sisteme cu putere de prelucrare de câteva sute ori 10^{15} operații în virgulă mobilă pe secundă;
- cinci domenii hardware vor influența dezvoltarea computației de înaltă performanță: proiectarea microprocesoarelor; tehnologiile de interconectare; memoria; dispozitivele de intrare / ieșire; stocarea și compresia fișierelor.

Este de așteptat ca *microprocesoarele* cu 1,5 miliarde de tranzistori să fie realizate până în anul 2010. Computația de înaltă performanță solicită o arhitectură diferită a circuitelor integrate și a subsistemelor pentru performanțe maxime. De exemplu, utilizarea unităților de prelucrare multiple în circuite integrate va fi însoțită de o descreștere a lărgimii de bandă de memorie, ceea ce nu este optim pentru prelucrările de înaltă performanță. Pe de altă parte, oportunitățile existente pentru dezvoltarea procesoarelor netradiționale bazate pe mecanisme hardware digitale de acces multiplu la

³ *Federal Plan for High-End Computing*, Computing Research Association, Washington, DC, 2004, p. 26.

câmpurile programabile (CD-ROM, discuri optice), procesoare în memorie, aplicații specifice circuitelor integrate etc. Asemenea dezvoltări pot conduce la performanțe de ordinul a 10^{15} operații pe secundă în viitorul apropiat.

Tehnologiile de interconectare. Unul dintre cele mai mari impedimente în calculatoarele moderne, dintre punctul de vedere al computației de înaltă performanță, îl constituie relativa slabă comunicare a acestor mașini comparativ cu performanțele microprocesoarelor. Asemenea latență și limitele de bandă de frecvență pot fi îmbunătățite de-a lungul întregii game de interconectări din interiorul sistemului. Interconectările optice pot dezvolta cu câteva ordine de mărime mai multă lărgime de bandă decât în sistemele actuale.

Memoria. Deși viteza procesoarelor s-a dezvoltat conform legii lui Gordon E. Moore (care prevede dublarea numărului de tranzistori în circuitele integrate la fiecare interval de 18 luni) și a crescut constant în fiecare an, memoria și lărgimea de bandă au crescut mult mai lent (cu aproximativ 7% pe an). Drept consecință, aplicațiile computaționale de înaltă performanță nu pot utiliza pe deplin performanțele disponibile la nivelul procesoarelor, deoarece acestea trebuie să aștepte datele cerute pentru prelucrare. Creșterea integrării memoriilor în procesoare sau a procesoarelor în memorii poate îmbunătăți această situație, la fel ca și dezvoltarea perechilor de memorii de bandă largă și sistemelor de procesoare pentru aplicații computaționale de înaltă performanță.

Dispozitivele de intrare / ieșire și stocare. Aplicațiile computaționale cu număr de operații în virgulă mobilă pe secundă de ordinul a 10^{12} și 10^{15} vor genera și vor utiliza cantități masive de date care trebuie stocate și administrate. Dezvoltările actuale realizează semnificative creșteri în capacitatea de stocare, dar micșorarea întârzierilor și îmbunătățirea lărgimii de bandă se produc mult mai lent.

Compactizarea. Cerințele de integrare a componentelor calculatorului, în viitor, vor impune creșterea importanței care se acordă disipării căldurii și consumului de energie electrică, printre multe alte aspecte. Deși acestea nu sunt implicate direct în performanțele unui sistem, trebuie luate în considerare la proiectarea acestuia. Managementul termic al viitoarelor sisteme va solicita cercetarea și dezvoltarea pentru realizarea unor tehnologii de răcire cu noi lichide, aer și alte substanțe care creează temperaturi scăzute.

Fiabilitatea, disponibilitatea și funcționalitatea. Pe măsură ce numărul de mașini sau procesoare sunt conectate într-un singur sistem, capacitatea sistemului de a continua să lucreze după defectarea unei componente și de a realiza mentenanța fără deconectarea întregului sistem devine o problemă din ce în ce mai importantă.

În general, computația de înaltă performanță este tot mai mult dominată de grupuri de calculatoare ("computer cluster" – grup de calculatoare cuplate care lucrează împreună astfel încât, din multe puncte de

vedere, poate fi considerat ca un singur calculator. Acestea pot fi conectate sau nu prin rețele locale de mare viteză. Ele se utilizează pentru îmbunătățirea vitezei și / sau fiabilității mult mai mult decât la un singur calculator, deși costul efectiv este mult mai mare decât al unui calculator unic cu viteză de lucru și fiabilitate comparabile) conectate în rețea pentru schimbul de date între centrele computaționale. Cluster-ele de 64, 128 și 256 sunt uzuale, iar de 2048 pot deveni disponibile, când este necesar. Calculatoarele vectoriale continuă să fie dorite pentru aplicații specializate.

Utilizarea computației de înaltă performanță în Forțele Armate ale SUA. În anul 2004, Trupele de Uscat aveau 115 proiecte care vizau computația de înaltă performanță. O repartitie a proiectelor și a resurselor utilizate este prezentată în figura 1⁴. Cele mai multe aplicații de computație de înaltă performanță utilizează software de interfață pentru transmiterea mesajelor pentru comunicarea între procese, cu excepția situațiilor când este cerut un nivel de eficiență mai mare. O activitate computațională de înaltă performanță implica de la 2 până la 64 de unități de prelucrare centrală, când se efectua și exploatarea în paralel. De asemenea, s-au utilizat intens calculatoare vectoriale în paralel pentru prelucrări specializate. Există, de asemenea, cereri de realizare a unor *cluster*e care să implice 64 la 256 și chiar mai multe unități de prelucrare centrală, dar migrarea software-ului spre aceste arhitecturi va consuma mult timp și va necesita alte resurse.

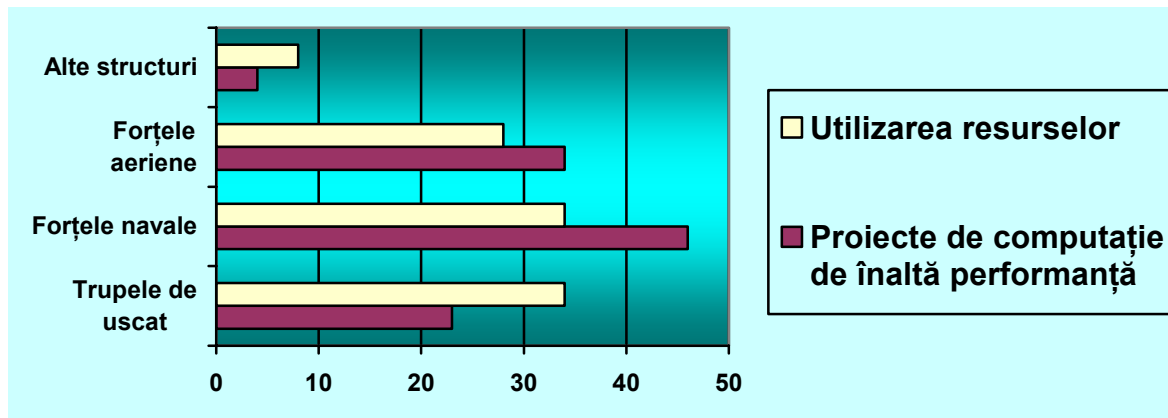


Fig. 1 Proiecte de computație de înaltă performanță și resursele utilizate

Se apreciază că utilizarea computației de înaltă performanță potențează o serie de aplicații vitale, precum: transformarea Forțelor Armate; proiectarea sistemelor și analiza arhitecturii C4ISR; proiectarea, testarea și evaluarea tehnicilor de supraviețuire și letalitate; cercetarea și dezvoltarea activităților pentru protecția sănătății forței; tehnici de vizualizare tridimensionale; tehnologia

⁴ *FY 2004 Report*, DoD High Performance Computing Modernization Office, Washington, DC, 2004, p. 28.

senzorilor pentru detectarea muniției neexplodate, a dispozitivelor explozive improvizate și a minelor; securitatea calculatoarelor și rețelelor de calculatoare.

O altă direcție de acțiune vizează cercetarea unor evenimente viitoare precum: condițiile atmosferice; modul în care exploziile diverse și efectele proiectilelor vor interacționa cu diferite elemente de infrastructură. Unele dintre aceste aplicații predictive vor deveni operaționale și vor migra către luptătorii din spațiul de luptă prin intermediul rețelelor.

În domeniul biomedical și biotehnologiei s-au derulat proiecte care vizează: dispersia agenților chimici și biologici în mediul înconjurător; modelarea și simularea capabilităților C4ISR care să cuprindă și detectarea agenților nucleari, chimici și biologici pentru îmbunătățirea cunoașterii situației.

În ceea ce privește *interconectarea sistemelor C2 în spațiul de luptă* s-au derulat următoarele proiecte: modelarea rețelelor radio pentru C2 în spațiul de luptă; rețelele de senzori pentru observarea propagării undelor acustice și seismice; afișarea în timp real a progresului misiunii și evenimentelor, utilizând sistemele telemetrice, optice, radar și GPS; dezvoltarea capabilităților de colectare, diseminare și management al informațiilor dispersate în întregul sistem (sistem de sisteme) concomitent cu mascarea complexității infrastructurii informaționale. Scopul este de a dezvolta ciclul de viață al managementului informațional prin asistarea automată a fuziunii datelor, extragerea cunoștințelor și prelucrarea analitică a datelor de test la sistemele mari de armament; urmărirea elementelor din spațiul de luptă (fiecare soldat, fiecare piesă de armament, senzori și structuri organizatorice) pentru a se obține un timp de rulare acceptabil al aplicației pentru un model al luptei la nivel de teatru de operații.

Aplicații biomedicale și biotehnologice. Biotehnologia este implicată în următoarele domenii:

- medicină: vaccinuri pentru amenințările chimice și biologice; medicamente pentru prevenirea bolilor infecțioase; potențatori ai performanțelor umane;
- indicatori biologici: identificarea rapidă a bolilor soldaților; mijloace pentru detectarea susceptibilității genetice la toxine și boli;
- îmbunătățirea controlului și urmării: înțelegerea mai completă a interacțiunilor moleculare; afișarea funcțiilor umane de bază.

Biotehnologia îmbunătățește calitatea tratamentului medical în spațiul de luptă, prin facilități computaționale la distanță, ca urmare a interconectării rețelelor⁵.

Direcțiile de acțiune, în acest sens, sunt: vaccinarea preventivă și îmbunătățirea imunității pentru forțele expediționare și securitatea națională; vindecarea accelerată a rănilor prin utilizarea diodelor emițătoare de lumină și tehnicilor de regenerare; stoparea fluxurilor de lichide umane la luptătorii cu afecțiuni critice; îmbunătățirea performanțelor umane; toleranță îmbunătățită

⁵ *Exploring Biotechnology Opportunities for the Department of Defense. Critical Review Technology Assessment Report*, Information Assurance Technology Analysis Center, Washington, DC, 2002, pp. 13-18.

la condițiile de mediu a luptătorului; cunoașterea îmbunătățită pentru perfecționarea performanțelor luptătorului; prelucrarea performantă a informațiilor din spațiul de luptă prin computația datelor biologice; asigurarea alimentării electrice bazate pe biologie în spațiul de luptă.

Computația de înaltă performanță, este importantă, în special, în patru domenii ale cercetării biotehnologice: bioinformatica; sistemele biologice; fiziologia computațională; modelarea moleculară.

Modelarea și simularea rețelei C4ISR. Un alt domeniu cercetat a fost cel privind modelarea și simularea rețelelor complexe pentru C2 care implicau până la 10.000 de centre radio din spațiul de luptă. În acest caz, s-au rezolvat probleme privind: determinarea vizibilității directe între centrele de comunicații; alegerea locului de instalare a centrelor de retranslație terestre și aeriene; utilizarea unei rate statistice de generare a mesajelor de lungime fixă sau variabilă; utilizarea unor modele statistice privind atenuarea semnalelor; utilizarea modelelor aplicative conform protocoalelor TCP / IP, UDP etc.; reprezentarea căilor de rutare a mesajelor; încorporarea modelelor de antene, directive și omnidirecționale; utilizarea avioanelor fără pilot, ca și centre de retranslație care au asigurat căi de comunicații suplimentare, astfel: în teren șes 10 căi; în teren mediu frământat 3 căi; în teren fără vizibilitate o cale; adăugarea simulărilor luptei forțelor amic – inamic, incluzând și modelul terenului și generarea dirijată a mesajelor; încorporarea modelelor speciale privind comportamentul necombatant, algoritmi de planificare a roboților, actualizarea datelor rachetelor pe timpul zborului; afișarea spațiului de luptă pe display și a datelor rezultate în urma prelucrărilor; actualizarea situației de la 400 de platforme de recunoaștere, cercetare și achiziție a țintelor.

Schema simulatorului de rețea este prezentată în figura 2.

Distanța dintre centrele de comunicații a fost considerată de 30 km. Procentajul de livrare a mesajelor a fost cuprins între 0,5 și 0,85.

Utilizarea computației de înaltă performanță deschide noi orizonturi de cercetare în tehnologia informației și comunicațiilor, și în alte domenii ale mediului militar dependente de informații prelucrate.

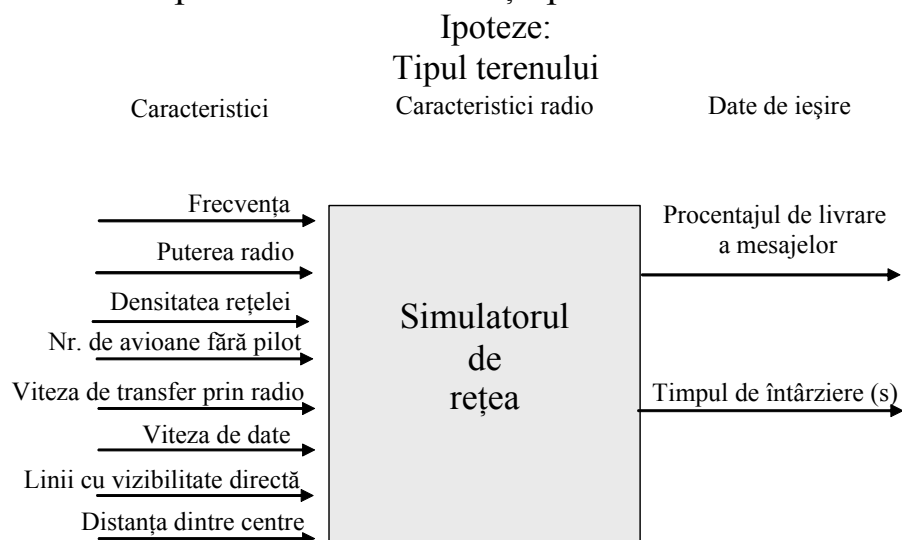


Fig. 2 Exemple de simulare a rețelei C4ISR

În cadrul NATO ⁶, capacitatea de prelucrare hardware a calculatoarelor a crescut foarte mult și este de așteptat ca aceasta să se dubleze la fiecare decadă. De asemenea, au fost realizate calculatoare de mare viteză care realizează 10^{12} operații în virgulă mobilă pe secundă. Acestea vor avea impact în prelucrarea avansată a semnalelor, recunoașterea automată a țintelor, realizarea rapidă a produselor informative, perfecționarea sistemelor de management al luptei, supravegherea și identificarea forțelor inamicului, comanda și controlul sistemelor de armament, actualizarea și replicarea bazelor de date etc. Prin dezvoltările în domeniul software-ului se realizează simularea și evaluarea cursurilor de acțiune, exercitarea comenzii și controlului în timp aproape real cu informații precise și relevante, instruirea în condițiile similare spațiului de luptă modern, desfășurarea acțiunilor de război electronic și informațional, sprijinul logistic, prelucrarea distribuită a datelor, planificarea și monitorizarea funcționării sistemelor informaționale, integrarea sistemelor de senzori, securitatea informațiilor etc.

⁶ *Land Operations in Year 2020*, NATO Research and Technology Organization, Neuilly-Sur-Seine, France, 1999, pp. 101-103.