

Aplicații ale firelor de așteptare în procesarea paralelă

Preparator Alecu Felician

Catedra de Informatică Economică, Academia de Studii Economice București

Abstract

As defined by Saaty, a queue, or a waiting line, involves arriving items that wait to be served at the facility which provides the service they seek. According to the dictionary, a queue is a file or line of persons. As a verb, "to queue" means to form a line while waiting for something. The etymology is from the Latin *coda*, which means tail. In our days, it is very common to have systems where users remain stationary at separated locations while the servers visit them and provide the required service. Such a system is called spatially distributed queue. The execution queue of a parallel system is managed by the scheduler who allocates tasks to available processors as well as implements the queue order and priorities. Queuing theory is very useful in telecommunications, traffic control, determining the sequence of computer operations, predicting computer performance, health services, airport traffic, airline ticket sales, mining industry, manufacturing systems.

Keywords

Queuing system and theory, queuing network, spatially distributed queue, scheduling, parallel systems efficiency.

Introducere

Teoria așteptării se constituie ca o ramură a cercetărilor operaționale ce are ca obiectiv abordarea matematică a cozilor sau a firelor de așteptare. Termenul *coadă* provine din cuvântul latin *coda* și semnifică dispunerea sub forma unui șir a unor persoane aflate în așteptare.

Teoria așteptării este principalul instrument folosit în studiul fenomenelor de congestiare care apar atunci când numărul cererilor depășește capacitatea de servire. Firele de așteptare și teoria așteptării și-au găsit aplicabilitate în diverse domenii cum ar fi telecomunicațiile, controlul traficului, anticiparea performanțelor computerelor, serviciile medicale (planificarea paturilor dintr-un spital), traficul aerian, vânzarea biletelor de avion, industria minieră, etc.

Performanțele sistemelor de așteptare în condiții de supraaglomerare joacă un rol important în ceea ce privește percepția consumatorilor asupra calității serviciilor. Timpii de așteptare și întârzierile sunt inevitabile în cadrul acelor sisteme de așteptare care răspund unor cereri aleatoare a căror apariție în timp și spațiu este guvernată de anumite legi probabilistice cunoscute sau necunoscute. A oferi, în cadrul unui sistem de așteptare, capacități de servire suficiente pentru a evita așteptările în absolut orice circumstanțe implică costuri uriașe. Din acest motiv, scopul teoriei așteptării este acela de a ne asista în proiectarea unor sisteme de servire în care există un echilibru între costurile de operare și timpii de așteptare ai utilizatorilor sistemului. Ceea ce înseamnă în mod concret acest echilibru depinde în funcție de natura serviciului oferit. Astfel, în cazul serviciilor de pompieri sau de ambulanță, costurile întârzierilor sunt foarte mari. Pentru a se asigura ca

riscul apariției unor astfel de întârzieri este foarte mic, sistemele sunt proiectate astfel încât să funcționeze sub capacitate, înregistrând astfel suficient de mulți timpi morți. În alte cazuri, cum ar fi livrarea scrisorilor la domiciliu sau serviciile de colectarea a rezidurilor menajere, întârzierile de ordinul orelor sau chiar a zilelor nu au rezultate catastrofale. Din acest motiv, astfel de sisteme ating nivele de utilizare ridicate.

În ceea ce privește latura practică, se pleacă de la un sistem din lumea reală care se analizează iar în urma analizei se decide asupra modelului matematic care descrie cel mai bine sistemul. Acest model matematic poate fi unul nou creat sau se poate apela la unul deja existent. Prin analizarea acestui model matematic se obțin o serie de concluzii care pot fi extinse asupra sistemului original. Activitatea de creare a unui model matematic are la bază simplificarea și aproximarea sistemului inițial. Astfel, detaliile considerate a fi neesențiale nu sunt incluse în cadrul analizei. De asemenea, pentru a se putea transpune comportamentul sistemului sub forma unui model matematic este necesar ca datele primare să fie transformate în mărimi matematice folosind aproximarea. De multe ori, în ceea ce privește comportamentul sistemului real se fac o serie de presupuneri bazate mai ales pe intuiția și experiența analistului decât pe observații efectuate în cadrul sistemului.

În practică, teoria așteptării este în special folosită pentru a scoate în evidență disfuncționalitățile existente în cadrul unui sistem aflat în funcțiune și pentru a arăta direcțiile de eficientizare a funcționării acestuia prin indicarea valorilor pe care trebuie să le atingă anumite variabile de sistem pentru a se ajunge la un nivel satisfăcător al performanțelor.

Atunci când se alege un model matematic, se poate opta pentru un model realist dar care poate să nu conducă la nici un fel de rezultate sau se poate opta pentru un model simplificat care să genereze rezultate aproximative. Marea majoritate a rezultatelor exacte din cadrul teoriei așteptării s-au obținut în acele sisteme în care ritmul de sosire al consumatorilor și/sau ritmul de servire al stațiilor sunt guvernate de o lege de probabilitate exponențial negativă. Din fericire, în cazul majorității sistemelor de așteptare cel puțin ritmul de sosire al consumatorilor în sistem este exponențial negativ deoarece sosirile consumatorilor pot fi modelate după o distribuție de tip Poisson care este exponențial negativă.

Principalul avantaj al teoriei așteptării este acela că ne pune la dispoziție informații extrem de importante despre timpii de așteptare care apar în sistem pe baza unor date minimale despre caracteristicile sosirilor în sistem, caracteristicile stațiilor de servire și disciplina sistemului.

În ultimii ani sistemele paralele și distribuite au devenit din ce în ce mai atractive pentru aplicații cu cerințe de calcul intensive cum ar fi cele destinate simulării unor sisteme complexe (aerodinamică, meteorologie). Principalul avantaj al unor astfel de sisteme este raportul mai mult decât atractiv dintre preț și performanțele care pot fi obținute.

Pentru a putea beneficia din plin de multiplicitatea resurselor, programele paralele sunt divizate în taskuri independente care intra în competiție pentru fi executate pe procesoarele sistemului. Independența a două taskuri înseamnă obținerea aceluiași rezultat indiferent dacă ele sunt executate secvențial în orice ordine sau în paralel.

Funcționarea sistemelor de calcul, fie ele secvențiale sau paralele, are la bază organizarea de fire de așteptare pentru accesul la resursele partajate ale sistemului

(procesor, memorie, dispozitive periferice). Astfel, pentru fiecare resursă există un sistem de așteptare în care resursa respectivă reprezintă stația de servire iar taskurile din sistem formează clienții.

În cazul procesorului, coada de așteptare poartă numele de fir de execuție. Firele de execuție fac trecerea de la programarea secvențială la programarea concurentă. Un fir de execuție reprezintă de fapt o listă în care se găsesc acele procese care sunt gata de execuție.

Dacă această listă este menținută în memoria partajată a sistemului, accesul trebuie să se efectueze într-o secțiune critică pentru prevenirea situației în care două procesoare ar putea să aleagă același proces pe care să-l planifice în execuție simultan. Excluderea mutuală pentru accesul la resursele critice se asigură folosind mecanisme standard din sistemele uniprocessor (semafoare, bariere, mutex-uri, monitoare, etc.). Astfel, atunci când un procesor intră în secțiunea critică, acesta are acces exclusiv la lista de procese gata de execuție. În funcție de disciplina de servire și de modul de implementare a priorităților în sistemul de așteptare, procesorul extrage un proces din listă după care părăsește secțiunea critică și începe să execute procesul.

Sisteme de așteptare pentru calculul paralel și distribuit

Conform definiției date de Tanenbaum, un sistem distribuit reprezintă o colecție de calculatoare independente și interconectate între ele care apar utilizatorului ca un singur calculator. În cadrul acestei definiții există două aspecte care trebuie subliniate. Primul este unul de natură hardware: calculatoarele din care este compus sistemul distribuit sunt independente și interconectate între ele. Cel de-al doilea aspect este unul software: sistemul este astfel proiectat încât lasă impresia utilizatorului că are în față un singur calculator. Din acest motiv putem afirma că sistemele distribuite sunt alcătuite din mai multe calculatoare autonome împreună cu componentele hardware și software de interconectare care asigură mecanismele de comunicație și sincronizare. În categoria sistemelor distribuite sunt incluse multiprocesoarele, multicalculatoarele conectate prin rețele de interconectare statice sau dinamice precum și rețelele locale de stații.

În general se consideră că un sistem paralel este utilizat pentru rezolvarea unei singure aplicații cu creșterea vitezei de calcul obținută prin multiplicitatea resurselor iar un sistem distribuit este folosit de mai mulți utilizatori împreună. Pe aceste categorii de sisteme pot fi abordate atât probleme de calcul paralel (execuția unei singure aplicații pe mai multe unități de procesare) cât și probleme de calcul distribuit (un grup de utilizatori contribuie la producerea unui rezultat comun). Din acest motiv se consideră că noțiunea de sistem distribuit este o noțiune mai cuprinzătoare care o înglobează și pe aceea de sistem paralel.

Un sistem de distribuit este gestionat de un sistem de operare distribuit care asigură utilizarea partajată a resurselor sistemului, distribuirea proceselor de calcul și comunicația între procese. Sistemele de operare distribuite reprezintă extensia pentru arhitecturi cu procesoare multiple a sistemelor de operare multitasking în care se pot defini și executa concurent mai multe procese.

În funcție de tipul sistemului de operare distribuit care rulează pe sistemul respectiv pot exista unul sau mai multe fire de execuție. Sistemele de operare cu multiprocesare, care operează asemănător cu un sistem UNIX multitasking dar pe calculatoare cu procesoare multiple, sunt caracterizate prin existența unei singure cozi de

execuție pentru întreg sistemul. Ori de câte ori un procesor devine liber, acesta extrage un proces din firul de așteptare pentru a-l executa. Următorul proces care va fi executat se stabilește în funcție de disciplina firului de așteptare și de prioritățile implementate în cadrul sistemului. Datorită faptului că timpul de execuție al programului paralel este finit, putem considera că numărul proceselor în care poate fi divizat algoritmul reprezintă de asemenea o mărime finită. Din acest motiv, unui astfel de sistem de calcul îi putem asocia un model de așteptare în care stația de servire este compusă din m posturi care lucrează în paralel, unde m reprezintă numărul de procesoare din sistem, iar sosirile au loc dintr-o populație finită (vezi modelul matematic al unui sistem de așteptare cu posturi de servire multiple și cu sosiri dintr-o populație finită).

La polul opus se află sistemele de operare în rețea și sistemele de operare real distribuite în cazul cărora există câte o copie a sistemului de operare în fiecare element de procesare. Aceste sisteme de operare sunt caracterizate prin existența unui număr de fire de execuție egal cu numărul de procesoare din sistem, fiecare procesor având asociat propriul fir de execuție. La nivelul fiecărui element de procesare există un sistem de operare care administrează firul de execuție asociat procesorului respectiv. Datorită faptului că timpul de execuție al programului paralel se presupune a fi finit, putem considera că numărul proceselor ce vor fi executate la nivelul întregului sistem este tot un număr finit. Din acest motiv putem asocia fiecărui nod un model de așteptare în care stația de servire este formată dintr-un singur post iar sosirile se realizează dintr-o populație finită (vezi modelul matematic al unui sistem de așteptare cu un singur post de servire și cu sosiri dintr-o populație finită). Sistemele de așteptare din nodurile de procesare formează, la nivelul întregului sistem paralel, o rețea de așteptare deoarece procesoarele comunică și se sincronizează între ele iar execuția unui proces poate fi condiționată de rezultatele generate de execuția altor procese pe alte procesoare.

Sistemele de așteptare despre care s-a discutat anterior se pot transforma în sisteme ale căror intrări au loc dintr-o populație infinită în cazul în care timpii de execuție ai programelor paralele devin foarte mari iar numărul proceselor ce sunt executate în cadrul sistemului crește simțitor (vezi modelul matematic al unui sistem de așteptare cu un singur post de servire și cu sosiri dintr-o populație infinită, modelul matematic al unui sistem de așteptare cu posturi de servire multiple și cu sosiri dintr-o populație infinită).

În ceea ce privește execuția unui program paralel pe procesoarele disponibile în cadrul unui sistem multiprocesor, sistemul de așteptare asociat depinde de legea de probabilitate care descrie procesul de servire și de modul de partiționare a sarcinii totale de calcul. În cazul unui program de tip data-paralel, aceeași succesiune de instrucțiuni se va executa asupra unor seturi de date distincte iar rezultatul final se va obține prin combinarea rezultatelor intermediare. În această situație putem considera că durata serviciului este o variabilă aleatoare repartizată exponențial negativ iar pentru evaluarea performanțelor sistemului de așteptare și a algoritmului de planificare cât și pentru îmbunătățirea acestora se poate folosi un model de tip $M/M/m$. Dacă însă partiționarea se realizează în spațiul instrucțiunilor, legea de probabilitate ce guvernează timpii de execuție ai proceselor poate fi una exponențial negativă sau generică iar modelul asociat sistemului va fi unul de tip $M/M/m$ sau $M/G/m$. Se poate ajunge la un model de tip $M/G/m$, care este foarte dificil de analizat, atunci când un proces poate beneficia de o cantă nelimitată de timp pentru a-și completa execuția.

Din dorința de a partaja echitabil resursele sistemului este posibil să se impună anumite limite în ceea ce privește caracteristicile proceselor din firul de execuție. Astfel, dacă se stabilește un prag maxim al timpului procesor de care poate beneficia un proces, toate procesele al căror timp de execuție estimat depășește valoarea prag vor fi eliminate din sistem și nu vor ajunge în firul de execuție. De asemenea, procesele al căror timp de execuție devine mai mare decât limita maximă impusă vor fi întrerupte și eliminate din sistem. În acest fel se garantează faptul că un proces nu va monopoliza de unul singur resursele sistemului.

Teoria așteptării se constituie într-un instrument foarte util pentru previzionarea performanțelor sistemelor de calcul în general și a celor paralele în particular. Astfel, mărimile medii de interes (numărul mediu de consumatori din coadă și din sistem, timpul mediu de așteptare în fir și în sistem) ne pot oferi o imagine clară asupra performanțelor de ansamblu ale sistemului și a direcțiilor de îmbunătățire a acestora. Asociind un model de așteptare unui sistem de calcul putem scoate în evidență disfuncționalitățile existente iar teoria așteptării ne va ajuta să eficientizăm funcționarea acestuia prin indicarea valorilor pe care trebuie să le atingă anumiți parametri ai sistemului pentru a se ajunge la un nivel satisfăcător al performanțelor. Sistemul de așteptare format din procesele aflate în firul de execuție așteptând să fie rulate de către procesor/procesoare este gestionat de către un program special numit planificator care face alocarea task-urilor pe procesoarele disponibile. Planificatorul implementează de fapt disciplina de servire la nivelul sistemului de așteptare și gestionează clasele de priorități asociate proceselor. Felul în care se face servirea clienților afectează performanțele sistemului în ansamblu. Din acest motiv se dorește ca algoritmul de planificare folosit să conducă la o creștere a eficienței sistemului. Atunci când se dezvoltă o nouă versiune a acestui program, în primă fază performanțele acestora sunt estimate folosind suportul oferit de teoria așteptării deoarece utilizarea unei versiuni instabile și netestate ar fi deranjantă pentru utilizatorii sistemului paralel.

Teoria așteptării ne arată că timpul petrecut de un consumator în sistem este format din timpul petrecut în coada de așteptare și din cel necesar servirii. În cazul în care consumatorul din sistemul de așteptare reprezintă un proces care este planificat pentru execuție, timpul petrecut în stația de servire este de fapt timpul acestuia de execuție. Pentru ca timpul petrecut de un proces în sistem să fie cât mai mic nu este suficient să se reducă doar timpul de execuție prin folosirea unor procesoare cât mai rapide ci este nevoie și de reducerea timpului de așteptare în fir prin folosirea unor algoritmi de planificare eficienți.

Bibliografie

- [Asm03] S. Asmussen, *Applied Probability and Queues*, Springer, 2003
- [Dod02] Gh. Dodescu, B. Oancea, M. Raceanu, *Procesare Paralelă*, Editura Economică, București, 2002
- [Sab95] G. W. Sabot, *High Performance Computing*, Addison-Wesley, 1995
- [Tan99] A. S. Tanenbaum, *Organizarea Structurată a Calculatoarelor*, Computer Press Agora, 1999