



Răzvan Beuran este Asociat de proiect la CERN (Organizația europeană pentru fizica particulelor), Elveția

Suntem din ce în ce mai dependenți de rețelele de calculatoare, având însă puține criterii obiective pentru a aprecia calitatea acestora. Punctul de plecare îl constituie determinarea acordului între comportamentul observat și cel așteptat al rețelei, și mai ales al aplicațiilor, deci la nivelul utilizatorului.

Autorul a desfășurat cercetările ce au condus la obținerea doctoratului în informatică la CERN (Organizația europeană pentru fizica particulelor), Elveția, împreună cu Mihai Ivanovici și în colaborare cu companiile U4EA Technologies și Predictable Network Solutions din Marea Britanie.

Calitatea rețelelor

Oamenii se interesează de calitatea tuturor lucrurilor esențiale pentru viața lor, preocuparea devenind fundamentală în prezent. Conceptul de management total al calității face deja parte integrantă din conducerea multor afaceri și respectarea standardelor precum ISO 9000 a devenit un obiectiv important.

În același timp, rețelele de calculatoare sunt din ce în ce mai utilizate. Și nu e vorba doar de o utilizare restrânsă, pentru scopuri exclusiv științifice, cum era cazul la începutul existenței lor. Internetul a penetrat la toate nivelurile – îl utilizăm azi pentru a comunica, a face cumpărături, a ne informa. O abordare aprofundată a chestiunii calității în rețelele de calculatoare este deci necesară.

Una din definițiile calității este: „fiecare dintre caracteristicile unui lucru care face ca el să corespundă (mai bine) așteptărilor”. Calitatea presupune așadar un subiect și un obiect, și reprezintă adecvarea între așteptările subiectului în raport cu proprietățile obiectului. Aceste proprietăți trebuie să fie măsurabile în sens larg, adică estimabile, de manieră obiectivă sau subiectivă. Pentru rețelele de calculatoare și mecanismele asociate, măsurarea calității permite stabilirea gradului în care acestea răspund așteptărilor utilizatorilor.

Aspecte ale calității în rețele

În prezent se vorbește tot mai mult de convergență, termen aplicat rețelelor care integrează transportul de date cu cel de fluxuri vocale și video prin aceeași infrastructură. Aceasta caracteristică aduce suplețe și evolutivitate rețelelor. Aplicații precum telefonie prin Internet, video-conferința, învățământul la distanță vor putea profita de convergență, accelerându-și penetrarea.

Pentru ca toate aceste aplicații să poată fi îndeplinite, furnizorii trebuie să asigure un anumit nivel de calitate a serviciilor (*Quality*

of Service – QoS) oferite de rețea aplicațiilor. Calitatea serviciilor este acel aspect al calității în rețelele de calculatoare care se referă la relația ce există între proprietățile rețelei și așteptările asupra acestora în termeni de parametri de performanță: debitul, pierderea de pachete și întârzierea.

Celălalt aspect al calității privește adecvarea între proprietăți și așteptări la un nivel mai înalt, acela al utilizatorilor aplicațiilor de rețea. Cuantificarea efectelor pe care parametrii QoS și variația lor le au asupra calității percepute de utilizatori (*User-Perceived Quality – UPQ*) pentru aplicații necesită definirea de măsuri ale acestei calități. De exemplu, pentru telefonie prin Internet (numită și telefonie IP sau *Voice over IP – VoIP*), efectul parametrilor QoS se traduce printr-o variație a calității comunicației, măsura cea mai potrivită pentru UPQ în acest caz. Pe de altă parte, pentru un transfer de fișier, factorii de interes pot fi timpul necesar pentru transfer sau eficacitatea acestuia.

Cele două aspecte ale calității – QoS și UPQ – nu sunt independente, așadar studiul comportamentului aplicațiilor de rețea necesită punerea în relație a parametrilor QoS și a calității la nivelul aplicațiilor. Aceasta ne permite să prezicem dacă o anumită conexiune este satisfăcătoare pentru o aplicație și să estimăm calitatea percepută pentru această aplicație.

Calitatea serviciilor

Cele două probleme principale ale rețelelor de azi sunt lipsa de predictibilitate și absența diferențierii serviciilor. Prima e cauzată de faptul că pachetele sunt rutate independent spre destinație, deci nu se pot oferi aplicațiilor garanții privind resursele. Cea de-a doua provine din tratarea în același mod a pachetelor. Fiecare aplicație are în schimb cerințe diferite, iar când întârzieri-

le sau pierderile de pachete depășesc aceste limite, aplicațiile devin literalmente inutilizabile. Ambele probleme pot conduce la o degradare a calității serviciilor, degradare ce trebuie măsurată și controlată după cum arătam în continuare.

Degradarea calității

Pentru orice rețea de calculatoare, calitatea serviciilor de la un capăt la altul este constituită din agregarea nivelurilor de calitate între limitele fiecărui domeniu traversat de trafic. Pentru a discuta și măsura proprietățile de la un capăt la altul ale unei rețele vom folosi conceptul de degradare indusă, notată prin ΔQ .

Între două puncte de măsură oarecare, ΔQ reprezintă modificarea calității serviciilor între punctele respective. Degradarea totală este constituită prin cumulara degradărilor locale induse de fiecare sub-rețea și element de rețea (vezi Figura 1). Cauza principală a acestei degradări este conflictul pentru resurse provocat de saturație, frecvent întâlnită în Internet datorită naturii predominant în salve a traficului.

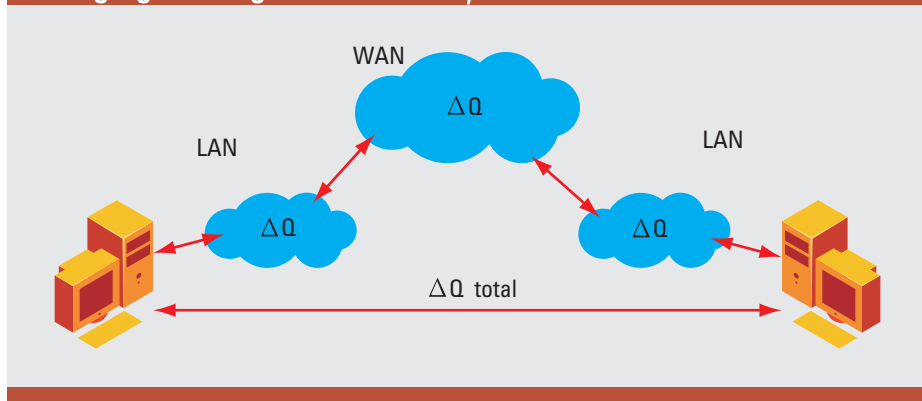
Parametrii QoS

Traficul la intrarea într-un ruter sau comutator poate să depășească capacitatea acestuia la ieșire, de aceea există memorii tampon pentru stocarea temporară a pachetelor. Aceste memorii introduc însă întârzieri suplimentare ale traficului, care se adaugă celor de transmisie și propagare. În plus, întârzierile prezintă o variație în timp, numită în engleză „jitter”. Datorită faptului că memoria tampon este finită, aceasta se poate umple, ceea ce conduce la pierderi de pachete pe perioada cât traficul la intrare depășește capacitatea la ieșire. Un alt parametru QoS este debitul, măsura cantității de date transferate printr-o secțiune de rețea.

Cei trei parametri menționați – întârzierea, pierderile de pachete și debitul – sunt legați printr-o relație cu două grade de libertate. Dacă unul din parametri este fixat, ceilalți doi devin interdependenți. În plus, există o lege de conservare în ceea ce îi privește. De pildă, întârzierea globală într-un element de rețea depinde de caracteristicile acestuia și poate fi doar partajată în mod diferit între diversele fluxuri de trafic.

Metodologia de măsurare a acestor parametri de performanță este definită de două organisme principale, IETF (*Internet Engineering Task Force*) și UIT-T (Uniunea Internațională de Telecomunicații, divizia Telecomunicații), prin diverse standarde și documente normative, cum ar fi I.380.

Figura 1: Degradarea calității de la un capăt la altul al rețelei este agregarea degradărilor în secțiunile intermediare.



Controlul QoS

Un flux de trafic oarecare trebuie să partajeze rețeaua cu fluxurile celorlalte aplicații. Pentru a-l proteja de acestea, două tehnici trebuie întrebuintate simultan în rețea:

- Metode de control al QoS-ului la nivelul nodurilor;
- Metode de control al QoS-ului de la o frontieră la alta.

Nivelul nodurilor este cel care permite un control direct al modului de tratare a pachetelor, de aceea este prima etapă în crearea unui comportament global predictibil al rețelelor. Rutele care stau la baza unei rețele cu QoS controlabil trebuie să fie capabile să clasifice, să gestioneze în cozi de așteptare și să planifice pachete din aceste cozi, în mod diferit pentru tipurile distincte de trafic.

Clasificarea este operația prin care traficul ce intră într-un ruter este împărțit în clase, în funcție de diverse criterii (de exemplu adresele IP sursă și destinație), astfel încât să fie posibilă tratarea lor diferită.

Fiecărei clase îi corespunde o coadă de așteptare dedicată. Mecanismele de gestiune a acestor cozi și a resursei memorie tampon asociate permit controlul pierderilor de pachete. Tehnicile cele mai utilizate din aceasta categorie sunt: respingerea ultimului pachet, detecția aleatoare avansată (RED), detecția aleatoare avansată cu ponderi (WRED), RED cu *în și în afară* (RIO) și notificarea explicită de congestie (ECN).

Planificarea este mecanismul prin care pachetele din diversele cozi de așteptare sunt desemnate pentru expediere. Ea permite controlul întârzierii – prin momentul la care un pachet este expedit – și al debitului – prin numărul de pachete dintr-o clasă expediate în unitatea de timp. Disciplinele de planificare cele mai cunoscute sunt: primul intrat-primul ieșit (FIFO), prioritate

strictă (SP), algoritmul „round robin” propriu-zis sau cu ponderi (RR, respectiv WRR) și planificarea echitabilă cu ponderi (WFQ).

Soluțiile de la o frontieră la alta sunt importante deoarece permit un control al QoS-ului de la un capăt la altul al unei conexiuni. Printr-un mecanism de tipul IntServ (*Integrated Services*), bazat pe protocolul RSVP, o aplicație poate rezerva resursele necesare și obține astfel garanțarea condițiilor pe toată durata rulării. O altă abordare, DiffServ (*Differentiated Services*), propune tratarea diferită a claselor în funcție de importanța lor.

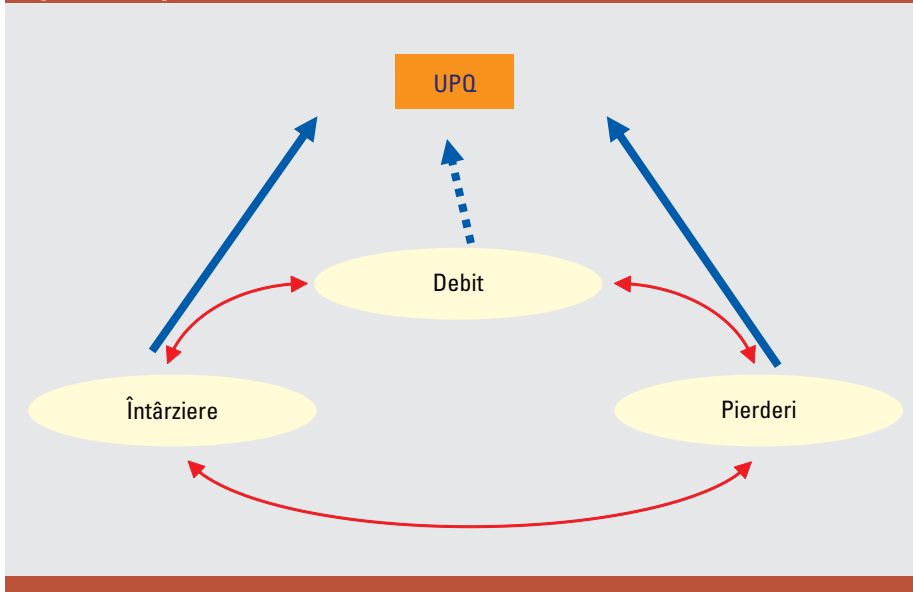
Faptul că în prezent rutarea în Internet se face pe baza unei singure metrice pentru definirea rutei celei mai scurte este prea constrângător într-un mediu cu diferențiere de servicii, căci o singură metrică nu poate reprezenta cerințele diverselor clase de trafic. Rutarea QoS propune folosirea mai mult metrice în mod simultan, astfel încât fiecare clasă de trafic să fie rutată pe calea care corespunde cel mai bine exigențelor aplicațiilor respective. Exemple de astfel de tehnici sunt rutarea pe bază de constrângeri (CBR) și comutarea de etichete (MPLS).

Calitatea percepută de utilizatori

Determinarea caracteristicilor de performanță ale unui rețele, în sensul de calitate a serviciilor, este numai primul pas în înțelegerea comportamentului la nivelul aplicațiilor de rețea. Fiecare aplicație necesită un nivel minim de QoS pentru a rula în conformitate cu cerințele utilizatorilor. De aceea este vital să privim aplicațiile din punctul de vedere al interacțiunii lor cu rețelele de calculatoare și să corelăm parametrii QoS cu calitatea percepută de utilizatori, UPQ (vezi Figura 2).

Aplicațiile pot fi împărțite în clase, în funcție de interactivitatea lor și sensibilitatea la

Figura 2: Impactul QoS-ului la nivelul utilizatorului, în termeni de UPQ.



pierderi de pachete și erori. UIT-T, de pildă, identifică șase clase de serviciu, fiecare având cerințe specifice, și recomandă limite superioare pentru întârzierea medie și variația acesteia, rata de pierderi de pachete și de erori (recomandarea Y.1541). Pentru VoIP acestea sunt de 400 ms, 50 ms, 10^{-3} , respectiv 10^{-4} . Însă nu se specifică dependența exactă a calității percepute în raport cu parametrii de performanță. Aceasta necesită un studiu mai aprofundat pentru fiecare aplicație în parte, fapt ilustrat mai jos.

Exemplu de analiză

În vederea evaluării calității percepute de un utilizator al unei aplicații trebuie mai întâi definite metrice adaptate. Determinarea relației între QoS și calitate percepută permite două acțiuni importante:

- Prezicerea UPQ-ului așteptat pentru o aplicație de rețea și înțelegerea cauzelor funcționării nesatisfăcătoare sau defectuoase a aplicațiilor;
- Conceperea/configurarea unei rețele pentru a furniza condițiile necesare astfel

încât o aplicație de rețea să ruleze la nivelul de UPQ dorit.

Transferul de fișiere este o aplicație importantă deoarece permite comunicarea la distanță a unui volum semnificativ de date, având la bază protocolul TCP.

În vederea estimării calității percepute de utilizatori pentru transferul de fișiere se pot folosi debitul util, care ia în considerare cantitatea de date vehiculată, și performanța temporală a transferului, care ține cont de durata transferului. Retransmisia pachetelor în caz de pierderi, întârzierea de „dus-întors” (în engleză „round-trip time”) și alți factori influențează caracteristicile transferului și în consecință calitatea percepută de utilizator, fiind reflectați de parametrii sus-menționați.

O aplicație în care percepția umană joacă un rol și mai direct este telefonía IP. Aceasta este în prezent o alternativă viabilă (și potențial mult mai ieftină) pentru telefonía obișnuită, însă o acceptare largă nu poate avea loc decât în condițiile furnizării unei calități echivalente.

Datorită faptului că mediul de comunicație este constituit de rețele IP, pentru VoIP sunt necesare etapele specifice de codare/decodare și pachetizare/depachetizare. Codoarele cele mai folosite în practică sunt G.723 și G.729, la care se adaugă codorul GSM, utilizat mai ales în telefonía mobilă.

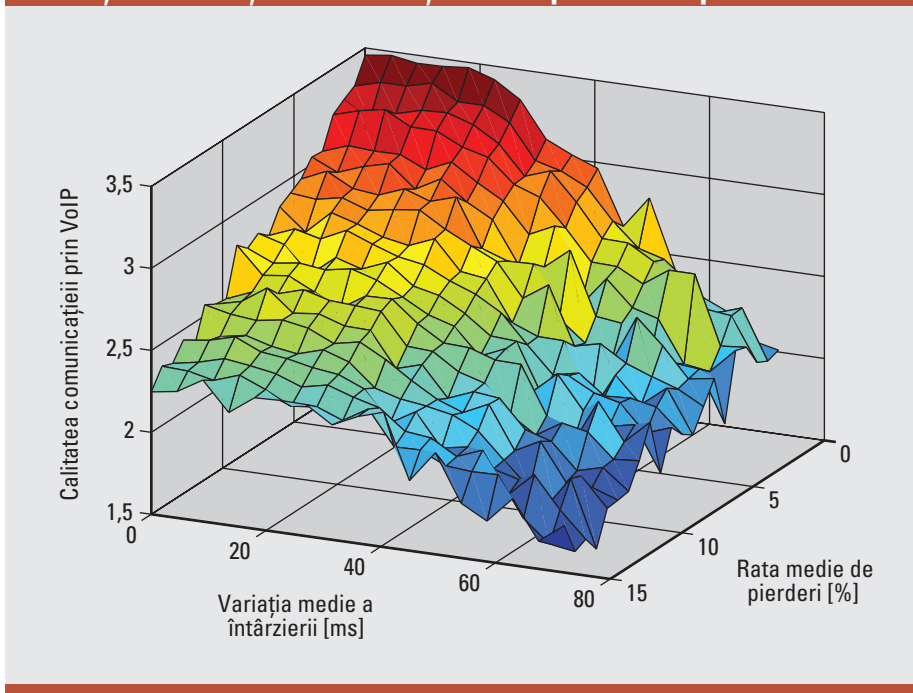
O serie de metrice obiective, propuse în principal de UIT-T prin recomandări de tipul P.861, P.862 sau G.107, permit o evaluare obiectivă a calității comunicației, așa cum ar fi percepută de un utilizator uman. Prin teste se pot „cartografia” domeniul în spațiul pierderi de pachete-variația întârzierii (parametrii cei mai importanți pentru VoIP) și reprezenta calitatea evaluată în trei dimensiuni, după cum este arătat în Figura 3.

Testarea calității

Cercetărilor noastre asupra calității în rețelele de calculatoare s-au derulat pe baza unor măsurători efective realizate cu sisteme de test specializate. Pentru analiza aspectelor de calitate serviciilor am definit un cadru și o metodologie care permit cuantificarea cu precizie a proprietăților de diferențiere de servicii pentru comutatoare FastEthernet și Gigabit Ethernet. Am indicat de asemenea necesitatea studierii comportamentului elementelor de rețea în condiții de saturație, condiții ce determină de regulă o scădere drastică a calității serviciilor.

Pentru o serie de comutatoare produse de liderii pieței, prin teste asupra

Figura 3: Calitatea comunicației prin VoIP în funcție de variația întârzierii și rata de pierderi de pachete.



proprietăților de diferențiere a serviciilor, am constatat o tratare uneori inechitabilă a fluxurilor de trafic care partajează aceeași coadă de așteptare. De asemenea, poate exista un dezacord între comportamentul real al elementelor de rețea și modelele teoretice care stau la baza implementării lor sau garanțiile explicite ori implicite oferite de producători.

Calitatea percepută este aspectul cel mai important al calității din perspectiva utilității, valorii rețelelor de calculatoare. Prin măsurarea parametrilor de performanță a rețelei și o evaluare simultană a metricilor de calitate percepută, am stabilit pentru o serie de aplicații de rețea frontierele între care trebuie să se situeze parametrii QoS astfel încât acestea să furnizeze nivelul dorit de calitate percepută.

Această abordare permite definirea exigențelor aplicațiilor, în termenii relației dintre calitatea percepută de utilizator și parametrii de performanță a rețelei. Devine deci posibil un management al calității și pentru rețelele informatice (eventual poate chiar o certificare de tipul ISO 9000). În aceste condiții considerăm că este datoria utilizatorilor să-și exprime cerințele către furnizorii de servicii și să contribuie astfel la ameliorarea calității oferite. **NET**

Bibliografie

- [1] G. Armitage, „Quality of Service in IP Networks”, *New Riders*, 2000.
- [2] R. Beuran, „Măsurarea calității în rețelele de calculatoare”, teză de doctorat, Universitatea „POLITEHNICA” din București și Universitatea „Jean Monnet” din St. Etienne, iulie 2004.
- [3] H. J. Chao, X. Guo, „Quality of Service in High-speed Networks”, *John Wiley & Sons Inc.*, 2001.
- [4] Recomandarea ITU-T G.107, „The E-model, a computational model for use in transmission planning”, *ITU*, mai 2000.
- [5] Recomandarea ITU-T I.380, „Internet Protocol (IP) Data Communication Service – IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters”, *ITU*, februarie 1999.
- [6] Recomandarea ITU-T G.726, „40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)”, *ITU-T*, 1990.
- [7] Recomandarea ITU-T G.729, „Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS-ACELP)”, *ITU-T*, martie 1996.
- [8] Recomandarea ITU-T P.861, „Objective quality measurement of telephone band (300-3400Hz) speech codecs”, *ITU*, februarie 1998.
- [9] Recomandarea ITU-T P.862, „Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and codecs”, *ITU*, februarie 2001.
- [10] Recomandarea ITU-T Y.1541, „Network Performance Objectives for IP-Based Services”, *ITU, versiune preliminară*, octombrie 2001.
- [11] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, A. Herzog, S. Jamin, „Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -- Version 1 Functional Specification”, *IETF RFC 2205*, septembrie 1997.
- [12] V. Paxson, G. Almes, J. Mahdavi, M. Mathis, „Framework for IP Performance Metrics”, *IETF RFC 2330*, mai 1998.
- [13] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, „An Architecture for Differentiated Services”, *IETF RFC 2475*, decembrie 1998.
- [14] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, „Multiprotocol Label Switching Architecture”, *IETF RFC 3031*, ianuarie 2001.
- [15] Z. Wang, „Internet Quality of Service: Architectures and Mechanisms”, *Morgan Kaufmann*, 2001.