

Lucrarea 3.

Efectul tehnicilor de acces asupra performanțelor comunicației: problema nodului ascuns și problema nodului expus.

1. Scopul lucrării

Lucrarea are ca scop investigarea diferitelor tehnici de control a accesului la mediul de transmisie (*Medium Access Control*) implementate în simulatorul *GloMoSim*. Vor fi analizate schemele de acces *CSMA*, *MACA*, *CSMA/CD* în conjuncție cu problema nodului ascuns și a terminalului expus, cele două probleme majore în sistemele wireless la nivel de strat legături de date.

2. Modul de desfășurare al lucrării

2.1 Tehnici de acces multiplu

Un protocol de acces multiplu (*MAP, Multiple Access Protocol*) stabilește metoda de partajare, de acces la resursele comune. În cazul sistemelor de comunicații, resursa ce trebuiește partajată este canalul de comunicație; în sistemele de comunicații wireless, canalul de comunicație este reprezentat de canalul radio. Rolul unui protocol de acces este acela de a evita coliziunile în momentul în care mai mulți utilizatori încearcă să acceseze simultan resursele canalului.

Rețelele de calculatoare, fie ele fixe sau wireless, pot fi împărțite în două categorii: cele care folosesc conexiuni punct-la-punct (*point-to-point connections*) și cele care folosesc canale de difuziune (*broadcast channels*). În rețelele cu difuziune, elementul cheie îl constituie modalitatea de a determina cine are dreptul de a accesa canalul în momentul când este o anumită competiție pentru acesta. În literatură, aceste canale de difuziune mai sunt cunoscute și sub numele de canale de multi-acces (*multiaccess channels*) sau canale cu acces aleator (*random access channels*).

Protocoalele de acces multiplu (*MAPs*) sunt o subclasă a protocoalelor de control al accesului la mediu (*MAC, Medium Access Control*). Aceste protocoale aparțin stratului 2, legături de date (*DLC, Data Link Control Layer*) din modelul de referință *ISO/OSI*, ale cărui funcții esențiale sunt: accesarea mediului, multiplexarea diferitelor structuri de date, corecția erorilor de transmisie, sincronizarea, realizarea unor legături punct-la-punct/punct-la-multipunct.

Evoluția protocoalelor de acces multiplu a urmărit evoluția serviciilor oferite în sistemele de comunicații. Astfel, dacă protocoalele cu asignare fixă (*fixed assignment*) se pretau serviciilor de voce, cerința pentru servicii multimedia (voce, date, video) a dus la apariția protocoalelor cu asignare la cerere (*demand assignment*), mult mai eficiente în astfel de situații. Mai mult, traficul cu rata de bit variabilă, conceptul QoS și cerințe ca prioritate, ordonare, suport QoS, sunt cerințe ce nu trebuie neglijate la proiectarea unor astfel de protocoale.

Proprietățile unui protocol sunt strâns legate de mediul pentru care acesta este proiectat. Câteva caracteristici și proprietăți generale ale unui protocol de acces multiplu ar putea fi următoarele:

1. Protocolul trebuie să asigure **alocarea** întregii **capacități a canalului** între toți utilizatorii acelor resurse astfel încât mediul de transmisie să fie folosit eficient. Eficiența în acest caz este tradusă prin oferirea unui debit util ridicat și a unor întârzieri de transmisie scăzute.
2. **Alocarea resurselor** trebuie să fie echitabilă față de toți utilizatorii. Într-un mediu în care utilizatorilor nu le sunt alocate nivele de prioritate, accesul la resursele alocate, în medie, este același.

3. Protocolul trebuie să fie *flexibil* în a permite diferite tipuri de trafic (voce, date).
4. Protocolul trebuie să fie *stabil*. Modificarea condițiilor dintr-o stare de echilibru, va conduce sistemul într-o nouă stare de echilibru. Astfel, un protocol instabil, la încărcarea mediului, va duce la scăderea debitului util în rețea. În cazul unui protocol stabil, cererile de accesare a mediului nu vor reduce traficul util vehiculat în rețea.
5. Protocolul trebuie să fie *robust* la schimbarea condițiilor și în cazul unor echipamente care nu funcționează tocmai în parametrii normaili.

Într-un scenariu wireless, protocolul de acces la mediu trebuie să rezolve următoarele categorii de situații:

1. Protocolul trebuie să asigure un mecanism de comunicare *fără coliziuni* (*collision-free*) chiar și atunci când mai multe noduri doresc să comunice utilizând același mediu partajat. Una din modalitățile de rezolvare a acestei probleme este *detectarea mediului* (*sense the medium*) ca fiind liber înainte de a începe transmisia. Acest lucru va genera însă un nou inconvenient cunoscut ca și *problema terminalului expus* (*exposed terminal problem*).
2. O altă problemă mult mai acută este aceea a *terminalului ascuns* (*hidden terminal problem*).
3. *Efectul de proximitate-depărtare* (*near-far effect*) este resimțit atunci când transmisiile de la utilizatorii mai îndepărtați sunt mult mai atenuate decât cele ale utilizatorilor mai apropiați. În mod normal sunt folosite antene omnidirecționale în cazul transmisiilor. Eficientizarea utilizării mediului se poate realiza prin implementarea unui mecanism de control al puterii de transmisie la emițător având ca rezultat reducerea efectului de proximitate-depărtare. Deși mecanismul de control adaptiv al puterii de emisie reduce efectul de proximitate-depărtare, sunt introduse noi probleme legate de mecanismul de detectare a rutei și de gestionare a topologiei rețelei, necesare procesului de rutare.
4. *Problema interferențelor* (*interference problem*) este un alt efect nedorit în sistemele wireless. Evitarea acestor efecte se poate face prin utilizarea unor antene direcționale.
5. *Efectul propagării multi-cale* (*multipath effect*) se manifestă printr-o interferență inter-simbol (*ISI*) într-un mediu cu întârzieri. Efectul *ISI* este acela de a crește probabilitatea de eroare datorată zgomotului aditiv. De asemenea, *ISI* distorsionează pozițiile trecerilor prin zero făcând sistemul mult mai sensibil la erorile de sincronizare.

Deși multe din cerințele și criteriile enumerate anterior sunt în conflict, la proiectarea unui protocol de acces multiplu trebuie găsit un compromis între cerințele impuse, costurile implementării și eficiența unor astfel de soluții.

2.2 Clasificarea protocoalelor de acces multiplu

Protocoalele de acces multiplu pot fi clasificate în trei categorii: protocoale cu disputare a accesului (*contention protocols*), protocoale fără disputare a accesului (*contentionless protocols*) și protocoale *CDMA* (*CDMA protocols*).

Un protocol cu disputare a accesului nu garantează utilizatorului o transmisie fără coliziuni, deoarece un alt utilizator poate transmite în același timp. Putem spune că aceste protocoale sunt protocoale cu acces aleator (*random*) tocmai din acest punct de vedere, al modului în care este accesat mediul. Aceste protocoale pot fi subdivizate în protocoale de acces aleator cu repetare (*repeated random protocols*) și protocoale cu acces aleator cu rezervare (*random access protocols with reservation*).

În cazul primei categorii, pentru fiecare transmisie există posibilitatea disputării mediului. În cazul celei de-a doua categorii, doar la prima transmisie utilizatorul nu știe modul în care poate evita coliziunile; o dată ce utilizatorul reușește să acceseze canalul, transmisiile ulterioare sunt ordonate (*scheduled*) până când utilizatorul își încheie transmisia. Protocoalele cu cerere de rezervare explicită folosesc un pachet special de rezervare în vederea transmisiei la un moment dat. În cazul protocoalelor cu rezervare implicită nu este necesară utilizarea unor pachete de solicitare a rezervării. Protocoalele fără disputare a mediului exclud posibilitatea ca doi sau mai mulți utilizatori să acceseze canalul în același timp, accesarea în vederea transmisiei făcându-se succesiv (*scheduling*). Acest lucru poate fi realizat printr-o asociere fixă (*fixed-assignment*), în care fiecărui utilizator îi este alocată o parte din capacitatea canalului de transmisie, sau printr-o asociere la cerere (*demand-assignment*), în care accesarea succesivă este realizată doar între utilizatorii ce au de transmis. Protocolul **CDMA** se încadrează între cele două categorii. În principiu este un protocol fără disputare, unde unui număr de utilizatori le este permisă transmisia simultană fără a exista posibilitatea unor coliziuni. Bineînțeles, dacă numărul transmisiilor simultane crește peste un anumit prag, apar coliziunile.

2.3 Protocoale cu disputare a accesului

În cazul protocoalelor **MAC** cu acces aleator nu avem o coordonare centralizată sau distribuită a transmisiilor. Un utilizator care este gata să transmită, nu cunoaște momentul optim la care trebuie să înceapă transmisia pentru a evita în acest mod interferența cu transmisiile celorlalți utilizatori. Mai mult, chiar dacă un utilizator ar asculta mediul și ar sesiza existența altor transmisii, nu ar avea informații despre transmisiile simultane propriiei transmisii. Dacă mai mulți utilizatori încep să transmită în același timp apar coliziunile (*collision*) și toate pachetele afectate sunt pierdute. Disputarea mediului poate fi realizată în acest caz de către protocol sau de către straturile superioare (este solicitată retransmisia datelor).

Cea mai simplă versiune a acestei clase de protocoale este așa numitul protocol **p-ALOHA** (*pure-ALOHA*), **ALOHA pură**. Au fost propuse unele schimbări la schema de bază a protocolului în vederea creșterii eficienței și/sau adaptării lui la diferite scenarii. Cele mai multe din protocoalele **MAC** existente includ o componentă a protocolului inițial **ALOHA**. Din această categorie fac parte și protocoalele de acces multiplu cu detectarea purtătoarei de tip **CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*).

O îmbunătățire ulterioară adusă protocolului **ALOHA** a constatat în "ascultarea" mediului cu detectarea purtătoarei în vederea identificării existenței unor altor transmisii, tehnica **CSMA**. În acest caz, o transmisie se poate efectua numai dacă mediul a fost determinat ca fiind liber (*idle*).

Identificăm doi parametri importanți ai protocoalelor **CSMA** și anume: întârzierea de propagare (*propagation delay*), măsură a vitezei de propagare a unui pachet între emițător și receptor, respectiv întârzierea de detecție (*detection delay*), măsură a vitezei de detecție a mediului de transmisie ca fiind liber.

Performanța protocolului **CSMA** este limitată de întârzierea de propagare dintre doi utilizatori. Astfel, în timp ce un utilizator a detectat mediul ca fiind liber și începe transmisia, celălalt poate fi gata de transmisie și testează canalul în același timp. Acest lucru duce la apariția unei coliziuni. Și în acest caz, lipsa unei confirmări din partea receptorului este un indice al nerecepționării pachetului transmis.

Există câteva variante ale protocolului **CSMA**: **CSMA non-persistent** (*CSMA non-persistent*), **CSMA p-persistent** (*p-persistent CSMA*), **CSMA cu detectarea coliziunilor** (*CSMA/CD*, *CSMA with Collision Detection*).

În cazul protocolului **CSMA non-persistent**, utilizatorul ce are de transmis un pachet "ascultă" mediul de transmisie înainte de a începe transmisia. Dacă mediul este liber, pachetul va fi transmis. Dacă mediul nu este liber, utilizatorul va aștepta un timp aleator până cât va testa din nou disponibilitatea utilizării canalului.

În sistemele ce utilizează tehnica **CSMA p-persistent**, la detectarea mediului ca fiind ocupat, utilizatorul continuă să testeze disponibilitatea mediului până când acesta devine liber. Transmisia pachetului curent se va face cu probabilitatea **p**, următoarea transmisie făcându-se cu probabilitatea **1-p** din cele **t** secunde, unde **t** reprezintă întârzierea maximă de propagare dintre oricare doi utilizatori ai sistemului. Cu alte cuvinte, ceea ce face protocolul CSMA p-persistent este o aleatorizare mai bună a timpilor de transmisie a pachetelor ce așteaptă a fi transmise, reducând astfel probabilitatea de coliziune.

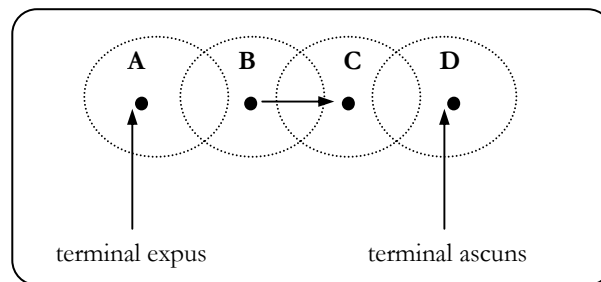
Folosind tehnica **CSMA/CD**, utilizatorul monitorizează permanent canalul în timp ce transmite. Dacă este detectată o coliziune, utilizatorul oprește transmisia pachetului, așteptând un timp aleator până la o nouă încercare de a transmite. Tehnica aduce avantajul unui timp mult mai scurt de reacție în cazul coliziunilor, crescându-se astfel eficiența algoritmului. Fără mecanismul de detectare a coliziunilor, utilizatorul identifică o coliziune abia după ce întreg pachetul a fost transmis și recepționat. Oricum, și cu acest mecanism de detectare a coliziunilor, există posibilitatea ca o stație să transiță un anumit timp până să fie informată de existența unor coliziuni. Această tehnică este utilizată în rețelele LAN ce respectă standardul IEEE 802.3. Eficiența poate fi scrisă sub forma:

$$\eta_{\text{CSMA/CD}} = \frac{1}{1 + 5a}, \text{ unde } a := \frac{T_p}{T_t}$$

În ecuație, T_p reprezintă timpul maxim de propagare pe mediul de transmisie, iar T_t reprezintă timpul de transmisie al pachetului. Eficiența transmisiei într-o rețea 802.3, folosind tehnica **CSMA/CD**, este cuprinsă între 40% și 90% și depinde de dimensiunile pachetului și de întârzierile de propagare.

2.4 Problema nodului expus și problema nodului ascuns

Specific rețelelor wireless, ce folosesc tehnica **CSMA**, este problema terminalului ascuns (*hidden terminal*) și a terminalului expus (*exposed terminal*). În Figura 4, nodul **B** este emițătorul, nodul **C** este receptorul, nodul **A** (așa numit *terminal expus*) este în raza emițătorului dar nu în cea a receptorului, iar nodul **D** (așa numit *terminal ascuns*) este în raza receptorului dar nu în cea a emițătorului.



Atât timp cât nodul **B** transmite nodului **C**, nodul **D** ar putea începe transmisia către nodul **C** deoarece nu “aude” transmisia existentă chiar dacă încearcă să detecteze purtătoarea pe mediul de transmisie. În acest caz, apar coliziuni. Mai mult, cum nodul **B** nu poate detecta aceste coliziuni, va continua să transmită. Pe de altă parte, cum nodul **B** transmite nodului **C**, nodul **A**, dacă ar vrea să transmită către un alt nod existent în rețea (în afara ariei nodurilor **B** și **C**), detectează mediul ca fiind ocupat, transmisia fiind amânată. În acest caz, deoarece nodul **C** este în afara razei nodului **A**, acea amânare a transmisiei nu este necesară.

În ambele scenarii imaginate, protocolul nu este eficient. În ciuda problemei nodului ascuns și a nodului expus, schema de acces **CSMA** este utilizată și în rețelele **WLAN**. Standardul **IEEE 802.11** folosește schema **CSMA** cu evitarea coliziunilor (**CSMA/CA**, **CSMA with Collision Avoidance**). Acest protocol este similar cu **CSMA/CD**, dar oferă o disputare mai scăzută a canalului, ținându-se cont de faptul că avem o transmisie în spațiul liber. Și în acest caz eficiența va depinde de dimensiunile pachetului și de întârzierile de propagare.

3. Implementări ale tehnicilor de acces multiplu în GloMoSim

GloMoSim permite utilizarea câtorva protocoale MAC în cadrul simulărilor și anume CSMA, MACA și CSMA/CA(802.11).

În cazul **CSMA** stația care dorește să transmită, mai întâi ascultă mediul pentru a determina alte transmisii (detectarea purtătoarei). Dacă mediul de transmisie este utilizat (canalul este ocupat), stația așteaptă; în caz contrar, stația transmite informația pe canalul radio.

În cazul terminalului ascuns, datorită faptului că mediul este simțit ca fiind liber, începe transmisia și apar coliziuni la nodul intermediar aflat în raza fiecăruia din nodurile transmițătoare. În cazul nodului expus, datorită faptului că mediul este determinat ca fiind ocupat, transmisia este amânată, deși nodul către care se dorește a se transmite este liber (disponibil).

1. Problema nodului ascuns reduce capacitatea unei rețele, numărul de coliziuni fiind foarte mare.
2. Problema nodului expus reduce capacitatea rețelei prin întârzierea transmisiilor care ar putea fi realizate.

O modalitate de a reduce efectul acestor probleme este introducerea unui dialog între nodul de transmisie și cel de recepție. Un astfel de schimb de mesaje este secvența RTS/CTS.

Schimbul de mesaje **RTS/CTS** este implementat în tehnica **CSMA/CA** (IEEE 802.11). În cadrul dialogului **RTS/CTS**, nodul care dorește să transmită un pachet, mai întâi trimite un pachet de control scurt numit **RTS** (*Request To Send*). Toate nodurile care interceptează pachetul **RTS** vor întârzia accesarea canalului pe durata dialogului **RTS/CTS**. La destinație, după recepționarea pachetului **RTS**, se va răspunde cu un alt pachet scurt **CTS** (*Clear To Send*). Toate nodurile care "aud" pachetul **CTS** vor întârzia accesarea canalului (mediul de transmisie) pe durata transmiterii pachetului.

Pentru cazul în care două noduri transmit în mod simultan pachete de control **RTS** aceluiași nod, cadrele **RTS** sunt pierdute în urma coliziunii apărute. În acest caz, nodurile care au transmis cadrele de control **RTS** își vor aleatoriza timpii de accesare a canalului pe baza unor algoritmi specifici. În acest fel, schimbul de mesaje **RTS/CTS** elimină parțial problema nodului ascuns și a nodului expus, dar nu rezolvă cazul în care nodurile au raze de transmisie diferite.

Tehnica **MACA** (*Multiple Acces Collision Avoidance*), la fel ca și tehnica **CSMA/CA** implementează schimbul de mesaje RTS/CTS pentru evitarea coliziunilor pe canalul de comunicație. Față de tehnica **MACA**, **CSMA/CA** implementează în mod suplimentar transmisia unui pachet de confirmare a unei recepții corecte a pachetului transmis de către sursă, un cadru **ACK**. Introducerea cadrului **ACK** permite transmiterea imediată a pachetului dacă acesta este detectat la recepție ca fiind eronat.

4. Experimente

Pentru o bună desfășurare a lucrării (înțelegerea fenomenelor și o interpretare coerentă a fenomenelor), este necesară revizuirea modului de lucru cu simulatorul *GloMoSim*, așa cum a fost prezentat în prima lucrare de laborator.

Există două probleme majore ce apar în cazul rețelelor wireless raportat la utilizarea diferitelor scheme de acces la mediul de transmisie: problema nodului ascuns și problema nodului expus.

La început se vor studia aspecte legate de problematica nodului ascus și a nodului expus, elemente dublate de înțelegerea tehnicilor de acces implementate în simulator, și anume: **CSMA**, **CSMA/CA** și **MACA**. Toate cunoștințele teoretice vor fi consolidate de o serie de experimente.

Raportul final ce va trebui întocmit va cuprinde o descriere a problemelor apărute, a experimentelor realizate și a rezultatelor obținute. Totodată, vor fi interpretate rezultatele și se vor face observații ce vor valida cunoștințele teoretice dobândite. Raportul final va conține parametrii comunicației în termenii de număr de pachete pierdute, debit binar și întârziere de transmisie.

Notă

1. În toate simulările se va folosi și unealta de vizualizare **VT** (*Visualization Tool*). De reținut faptul că **VT** de permite vizualizarea tuturor pachetelor ce apar în cadrul transmisiei, deci atât a pachetelor de date cât și a celor de control.

Problema 1.

Analizați problema nodului ascuns prin setarea unui mediu de simulare cu 3 noduri, cu **nodul 1** plasat între **nodul 0** și **nodul 2**. Simulați problema nodului ascuns utilizând la start aplicație o sursă de tip **CBR**. În vederea transmiterii pachetelor se va seta **rutarea statică**. În cazul rutării statice, nodurile sursă și destinație sunt setate manual astfel că nu mai sunt transmise alte pachete de rutare suplimentare între aceste noduri.

Schema de acces la nivel de start legături de date va fi **CSMA**. Se va simula un schimb de mesaje prin transmiterea a **500 de pachete** având dimensiunea de **200 de octeți**. Mesajele vor fi transmise corespunzător unui scenariu ce tratează problema nodului ascuns.

Scenariul 1.

Realizați o transmisie între **nodul 0** și **nodul 1**, respectiv **nodul 2** și **nodul 1**, validând astfel poziționarea corectă a nodurilor (rază de transmisie corespunzătoare). Pentru aceasta vor fi configurate în mod corespunzător fișierele *config.in*, *app.config*, *nodes.inputs* și *routes.in*.

Scenariul 2.

Începeți transmiterea datelor, între nodurile aflate în configurația corespunzătoare problemei nodului ascuns, la același moment de timp. Monitorizați și salvați parametrii de trafic (valorile debitului și ale întârzierilor în transmisie).

Scenariul 3.

Repeți scenariul întârziind transmisia unui nod cu 0.1 s.

Scenariul 4.

Modificați anumiți parametri ai aplicației astfel încât să obțineți o îmbunătățire a comportamentului rețelei (intervalul de emisie a pachetelor la nivelul nodurilor de transmisie, dimensiunea pachetului).

Problema 2.

Înlocuiți tehnica de acces cu **MACA**. Repetați experimentele și observați diferențele.

Problema 3.

Setați ca și tehnică de acces **CSMA/CA (IEEE 802.11)**. Repetați experimentele și observați diferențele în raport cu scenariile anterioare.

Notă

1. Raza de transmisie depinde de tipul modelului de propagare selectat. Pentru setările implicite ale simulatorului de la nivelul stratului fizic, raza de transmisie este de 627 m în cazul modelului de propagare *free-space*. Dacă nu sunteți siguri asupra valorilor razei de transmisie, puteți folosi executabilul *radio_range.exe* pentru obținerea razei de transmisie corespunzătoare valorilor parametrilor stratului fizic.

2. Rutarea statică nu modelează o rutare în adevăratul sens al cuvântului, ci este un mecanism prin care se specifică cărui nod îi este permis să comunice cu un alt nod. Acest lucru nu înseamnă că dacă *nodul 0* comunică cu *nodul 1* și *nodul 1* comunică cu *nodul 2*, mesaje de la *nodul 0* nu pot ajunge la *nodul 2*.

Problema 4.

Analizați problema nodului expus prin setarea unui mediu de transmisie având 4 noduri. Plasați nodurile în mod corespunzător problemei ce urmează a fi analizată. Stările la nivel de strat aplicație și rețea sunt similare problemei anterioare. Se vor realiza aceleași scenarii și se vor efectua aceleași analize asupra rezultatelor obținute.

5. Întrebări

- a. Care sunt parametrii ce caracterizează fiecare dintre tehnicile de acces în fișierul de ieșire *glomo.stat*?
- b. Ce tipuri de mesaje intra în componența semnalelor recepționate la nivel de strat fizic? Explicați numărul de semnale recepționate la nivelul fiecărui nod și pentru fiecare tehnică de acces în parte.
- c. Care tehnică oferă o utilizare eficientă a mediului de transmisie și cum este rezolvată problema nodului ascuns și a nodului expus?
- d. Ce se întâmplă dacă nodul sursă emite pachete la intervale mai mici decât întârzierea medie “end-to-end”?
- e. Cum sunt corelați, în cazul unei aplicații în timp real următorii parametri de trafic: întârzierea medie end-to-end, intervalul de emisie a pachetelor, decalarea în timp a emisiei la cele două noduri sursă, dimensiunea pachetului?
- f. Care sunt concluziile majore?

6. Raportul tehnic

La încheierea sesiunii de laborator se va preda un raport al activității desfășurate ce va include rezultatele simulărilor pentru fiecare din scenariile rulate și răspunsul la întrebări.

Totodată, raportul de activitate va include și o analiză a rezultatelor obținute. În analiză se va acorda atenție numărului de pachete de control transmise în fiecare caz în parte. Se va reprezenta grafic utilizarea celor trei scheme de acces în termenii de întârzieri și debit.