

Lucrarea 2.

Influența modelelor de propagare și de fading în evaluarea performanței sistemelor de comunicații wireless.

1. Scopul lucrării

Lucrarea are ca scop utilizarea simulatorului *GloMoSim* în analiza influenței modelelor de propagare și de fading asupra performanței sistemelor comunicații wireless.

2. Modul de desfășurare al lucrării

2.1 Modele de propagare

Pierderile pe traseul de propagare sau pe calea de propagare (*path loss*), dintre sursă și destinație, reprezintă un factor esențial în evaluarea modului în care undele sunt propagate în spațiul liber. Acest parametru definește valoarea medie a pierderilor semnalului pe traseul de propagare, pentru o anumită configurație (arhitectură) a terenului.

În momentul transmiterii undelor radio dintr-un anumit punct, acestea sunt dispersate și se propagă sub forma unor fronturi de undă sferice. Fronturile de undă înaintează pe o direcție perpendiculară cu frontul de undă. Sunt întâlnite patru trasee distincte în cadrul propagării undelor radio, iar la proiectarea unui sistem wireless se va lua în considerare unul din aceste mecanisme de propagare: propagarea undei directe; propagarea undei de suprafață; propagarea undei reflectate de troposferă; propagarea undei ionosferice.

Se consideră un sistem de comunicație wireless simplificat: un transmițător având puterea de ieșire P_t este conectat la o antenă având câștigul G_t ; semnalul este recepționat de o antenă având câștigul G_r puterea la recepție este P_r iar distanța R . În vederea calculului puterii de recepție, vom face următoarele considerații: nu avem pierderi atmosferice, nu avem dezadaptări pe feed-erele antenei, antenele sunt în vizibilitate directă (nu există un obstacol între cele două sisteme), antenele sunt polarizate corespunzător și sunt aliniate.

În aceste condiții, puterea recepționată este proporțională cu câștigul antenei date și invers proporțională cu pătratul distanței dintre antene și este dată de relația:

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right)^2$$

Ecuația mai este cunoscută și sub numele de *ecuația Friis a puterii de transmisie*.

2.2 Modele de fading

Canalul radio în cadrul sistemelor de comunicații mobile comparat cu cel al sistemelor de comunicații fixe este caracterizat de condiții particulare de propagare. Pe canalul radio al sistemelor de comunicație wireless mobile, semnalul recepționat este o combinație a mai multor componente sosite la receptor din direcții diferite, pe trasee multiple de propagare. Noțiunea de fading se referă la variația în putere a semnalului recepționat ca urmare a modificării caracteristicilor mediului de transmisie sau a modificării traseului de propagare al undei.

Într-un mediu al wireless fixe, antenele sunt poziționate în locații specifice, fading-ul fiind afectat în principal de schimbări ale condițiilor atmosferice (ploaia, ceața, furtunile de nisip, etc.).

Într-un mediu wireless mobil, în care cel puțin una din cele două antene își modifică poziția în raport cu cealaltă, poziția relativă a obstacolelor se va modifica în timp acest lucru ducând la un mediu de transmisie complex. Înălțimea antenei terminalului mobil (nodul mobil) este de obicei una scăzută, în mod obișnuit mai puțin de câțiva metri. În aceste condiții, este de așteptat ca antena terminalului mobil și cea a stației de bază (punctului de acces) să nu fie în vizibilitate directă, astfel încât obstacolele și suprafețele de reflexie din vecinătatea antenei să aibe o influență substanțială asupra caracteristicii traseului de propagare. Mai mult, caracteristicile de propagare se modifică de la o locație la alta în condițiile în care terminalul mobil (nodul mobil) își modifică locația la diferite intervale de timp. Astfel, traseul de propagare dintre emițător (sursă) și receptor (destinație), din punct de vedere al vizibilității, poate varia de la un traseu cu vizibilitate directă până un traseu obstrucționat total de clădiri, păduri, terenuri cu diferite elevații, etc.

Modele de fading sau modelele de canale de fading sunt ecuații matematice ce modelează distorsiunile pe traseul de propagare ale unui semnal modulat. Fadingul este rezultatul superpoziției semnalelor ce suferă atenuări, întârzieri și defazaje în urma transmiterii lor de la sursă la destinație.

Fading-ul într-un mediu wireless mobil poate fi clasificat în două categorii: (1) fading rapid și (2) fading lent. Dacă un nod mobil (terminal mobil) se deplasează și variațiile nivelului semnalului apar pe distanțe mai mici decât o jumătate de lungime de undă, fenomenul este cunoscut sub numele de *fading rapid* (*fast fading*). Dacă un nod mobil (terminal mobil) se deplasează și variațiile nivelului semnalului apar pe distanțe mai mari decât o lungime de undă, fenomenul este cunoscut sub numele de *fading lent* (*slow fading*).

Fading-ul poate fi de asemenea clasificat în două categorii: (1) *fading plat* (*flat fading*) și (2) *fading selectiv* (*selective fading*). Fading-ul plat (sau fading neselectiv) este acel tip de fading în care toate componentele de frecvență ale semnalului recepționat variază simultan în același fel (sunt atenuate la fel). Fading-ul selectiv afectează în mod inegal diferitele componente spectrale ale semnalului recepționat.

În proiectarea unui sistem de comunicații, este necesară estimarea efectelor propagării multicale și a zgomotului asupra canalului radio.

Cel mai simplu model de canal, din punct de vedere al analizei, este canalul de tip *AWGN* (*Additive White Gaussian Noise*). Pe acest canal, semnalul este afectat de zgomot termic. Modelul este adaptat în special modelării canalului radio în cazul comunicațiilor spațiale și în cazul unor transmisii pe cablu coaxial. În cazul comunicațiilor wireless terestre, modelul *AWGN* nu este recomandat a fi utilizat.

Fading-ul Rayleigh apare atunci când sunt multiple trasee indirecte între transmițător și receptor, iar traseul undei directe este obturat de elementele terenului. Modelul de canal cu distribuție de tip Rayleigh este utilizat pentru medii având condiții de propagare dificile, în care nodurile care nu se află în vizibilitate directă (*no line-of-sight*), caracterizând în special mediile exterioare (*outdoor*). De obicei aceste modele corespund unor medii având noduri cu un nivel înalt de mobilitate. Acest scenariu indică cazul cel mai defavorabil.

Fading-ul Ricean caracterizează cel mai bine mediile în care avem un mediu de comunicație având noduri atât în vizibilitate directă (*line-of-sight*) cât și noduri care nu sunt în vizibilitate directă (*no line-of-sight*). Modelul de canal cu distribuție de tip Ricean caracterizează în special mediile interioare (*indoor*). Nivelul semnalului de pe traseul în vizibilitate directă și de cel de pe traseul care nu este în vizibilitate directă este controlat de factorul *K Ricean*. Acesta este definit astfel:

$$K = \frac{\text{puterea pe traseul principal}}{\text{puterea pe traseele alternative}}$$

Atunci când valoarea factorului $K = 0$ canalul este de tip Rayleigh (nu avem vizibilitate directă între emițător și receptor, semnalul este recepționat de pe trasee alternative). Când valoarea factorului $K = \infty$, canalul este de tip *AWGN* (canalului de comunicație pentru care nu este considerat fading).

2.3 Propagarea multicală

În cazul propagării multicală sunt evidențiate patru mecanisme de bază funcție de: (1) mediul în care are loc propagarea, (2) lungimea de undă a semnalului incident și (3) dimensiunile obstacolului în raport cu lungimea de undă a semnalului incident:

1. **Refracția** (*refraction*) - undele radio sunt refractate atunci când propagarea are loc în straturile atmosferei, în special în straturile superioare ale atmosferei (straturile ionosferei). Fenomenul de refracție este determinat în primul rând de modificarea condițiilor atmosferice. Gradul de refracție al undelor în straturile superioare ale atmosferei depinde în special de trei factori: (1) gradul de ionizare al stratului, (2) frecvența undei radio și (3) unghiul sub care unda intră în acel strat.
2. **Reflexia** (*reflection*) - este fenomenul ce apare atunci când o undă electromagnetică întâlnește o suprafață a cărei dimensiune este mai mare decât lungimea de undă a semnalului incident. Fenomenul asociat reflexiilor este apariția interferențelor multicală cu efect constructiv sau distructiv la receptor.
3. **Difracția** (*diffraction*) - este fenomenul ce apare relativ la muchiile suprafețelor al căror dimensiuni sunt mai mari comparativ cu lungimea de undă a semnalului incident. Când o undă întâlnește o astfel de muchie, muchia devine o sursă de propagare a undelor în diferite direcții. (Exemplu: muchiile clădirilor)
4. **Dispersia** (*scattering*) - este fenomenul ce apare relativ la obstacolele ale căror dimensiuni sunt comparabile sau mai mici comparativ cu lungimea de undă a semnalului incident. Un semnal incident este dispersat în mai multe semnale atenuate. Efectele fenomenului de dispersie sunt dificil de prezis. (Exemple: stâlpii de iluminare publică, semnele de circulație)

Dacă nodul mobil se află în vizibilitate directă cu transmițătorul, efectele fenomenelor de difracție și difuzie sunt minore, doar reflexia având un impact semnificativ. Dacă nodul mobil nu se află în vizibilitate directă cu transmițătorul, semnalul recepționat este determinat în special de efectul fenomenelor de difracție și difuzie (dispersie).

Unul din efectele nedorite ale propagării multicală este faptul că mai multe replici ale semnalului inițial ajung cu faze diferite la receptor. În aceste condiții, raportul semnal-zgomot (SNR) scade, efectul fiind acela al unui slab nivel al semnalului la receptor. Un alt fenomen întâlnit în cazul transmisiilor digitale este interferența intersimbol (ISI).

3 Implementări ale modelelor de propagare și de fading în GloMoSim

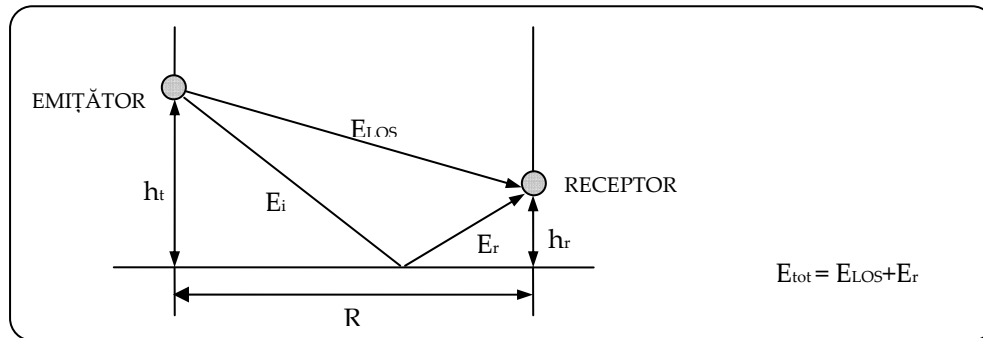
În simulări vor fi utilizate două modele de propagare: (1) modelul free-space (*spațiu liber*) și (2) modelul two-ray (*două raze*).

1. **Modelul free-space** este un model de referință idealizat, în care este luată în considerare atenuarea cu distanța (puterea semnalului la recepție scade cu pătratul distanței dintre antena sursă și antena destinație). Modelul prezice nivelul semnalului recepționat în condițiile în care emițătorul și receptorul sunt în vizibilitate directă. Implementează ecuația de transmisie Friis.

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right)^2 \quad (\text{pentru o antenă ideală izotropă})$$

2. **Modelul two-ray** ia în considerare interferența cu undele reflectate, fiind potrivit pentru modelarea și studiul propagării în zonele urbane (microcelule), în sisteme mobile wireless de tip ad-hoc. Modelul consideră traseul direct și cel reflectat de sol puterea la recepție scade cu cubul distanței dintre emițător și receptor.

$$P_r = P_t \cdot G_r \cdot G_t \cdot \frac{h_t^2 \cdot h_r^2}{R^4} \quad (h_t, h_r - \text{înălțimea antenelor la emisie/recepție})$$



De asemenea, va fi analizată influența câtorva modele de fading asupra performanțelor comunicației wireless. Fading-ul reprezintă variațiile în putere ale receptorului datorită mobilității nodului (ce produce variația condițiilor pe calea de propagare).

În cadrul acestor evaluări vor fi analizate trei cazuri:

1. Absența fading-ului folosind modelul **AWGN**. Pentru cazul canalului de comunicație pentru care nu este considerat fading, vom folosi modelul **AWGN** (*Additive White Gaussian Noise*).
2. Modelarea fading-ului folosind **distribuția de tip Rayleigh**. Modelul cu distribuție de tip Rayleigh este utilizat pentru medii având condiții de propagare dificile, în care nodurile care nu se află în vizibilitate directă (*no line-of-sight*). De obicei aceste modele corespund unor medii având noduri cu un nivel înalt de mobilitate, calea de vizibilitate directă fiind obturată de elementele terenului.
3. Modelarea fading-ului folosind **distribuția de tip Ricean**. Modelul cu distribuție de tip Ricean este considerat pentru cazurile în care avem un mediu de comunicație având noduri atât în vizibilitate directă (*line-of-sight*) cât și noduri care nu sunt în vizibilitate directă (*no line-of-sight*). Nivelul semnalului de pe traseul în vizibilitate directă și de cel de pe traseul care nu este în vizibilitate directă este controlat de factorul **K Ricean**.

3.2 Setarea raze de transmisie

Raza de transmisie reprezintă distanța medie maximă dintre două noduri în condiții de operare normală. Nu există un standard sau vreo procedură uzuală sau de măsurare a distanței astfel că, în realitate, nu putem compara diferite produse în funcție de raza de transmisie înscrisă în foile de catalog ce le însoțesc.

Pentru compararea razei de transmisie, în cazul nodurilor mobile, este indicată analiza (1) puterii transmisiei și (2) valorilor sensibilității, valori și caracteristici măsurabile ce indică într-adevăr caracteristicile și performanța produsului respectiv. Prin puterea de transmisie înțelegem puterea de emisie măsurată în W sau mW iar prin sensibilitate definim nivelul cel mai scăzut al semnalului "simțit" la receptor, în condiții de interferență. Sensitivitatea reprezintă o măsură a performanțelor receptorului: cu cât valoarea este mai scăzută, cu atât performanța componentei este mai ridicată.

3.3 Modalități de determinare a razei de transmisie în GloMoSim

1. Setarea modelului de propagare (*PROPAGATION-PATHLOSS parameters*).
2. Fixarea puterii de recepție la antena destinație (*RADIO-RX-THRESHOLD parameter*).
3. Fixarea distanței și calcularea puterii de transmisie conform parametrilor modelului de propagare ales.
4. Setarea parametrului *RADIO-TX-POWER*.

3.4 Relații matematice utile

$$1. \quad G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

2. Valoarea de 1W este considerată ca referință și definită a fi 0 dBW, (0dBW = 1W)

$$\left(P_{dBW} = 10 \log_{10} \frac{P_W}{1W} \right) \text{ sau } \left(dBW - 10 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}}, P_{ref} = 1W \right)$$

3. Valoarea de 1mW este considerată ca referință și definită a fi 0 dBm, (0dBm = 1mW)

$$\left(P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_{mW}}{1mW} \right) \text{ sau } \left(dBm - 10 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}}, P_{ref} = 1mW \right)$$

$$4. \quad P_W = 10^{\frac{P_{dBW}}{10}} \text{ și } P_{mW} = 10^{\frac{P_{dBm}}{10}}$$

$$5. \quad 1dBW = 30dBm$$

6. Un câștig de **3dB** presupune dublarea puterii, iar un câștig de **-3dB** presupune înjumătățirea puterii (pierdere în putere).

$$G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{1}{2} = 10 \cdot (-0.3) = -3 [dB]$$

$$G_{dB} = 10 \log_{10} 2 = 10 \cdot (0.3) = 3 [dB]$$

3.5 Calculul razei de transmisie în GloMoSim

Utilizarea executabilului *radio_range.exe* permite estimarea razei de transmisie în urma modificării diferiților parametri din fișierul de configurare *config.in* prin rularea comenzii *./bin/radio_range config.in*.

3.6 Calculul capacității de transfer (debitul)

$$THROUGHPUT_{system} = \frac{\text{Numarul total de octeti / biti receptionati}}{(END - TIME) - (START - TIME)}$$

END - TIME = Momentul recepționării ultimului pachet

START - TIME = Momentul recepționării primului pachet

4. Experimente

Problema 1.

Se va parcurge documentația referitoare la modelele de propagare și de fading.

Problema 2.

Setați un mediu de simulare wireless ad-hoc cu **30** de noduri mobile amplasate pe un teren având dimensiunile de **500x500 m**. Ca și model de mobilitate se va selecta **RANDOM-WAYPOINT**, model ce va determina modul de deplasarea nodurilor.

Pentru modelul **RANDOM-WAYPOINT**, nodul alege o destinație din aria fizică definită în cadrul simulării în mod aleator. Nodul mobil se deplasează spre destinație cu o viteză uniform aleasă între valorile **MOBILITY-WP-MIN-SPEED** și **MOBILITY-WP-MAX-SPEED**, valori exprimate în m/s. La atingerea destinației, nodul va staționa un interval indicat prin intermediul parametrului **MOBILITY-WP-PAUSE**.

Valorile acestor parametri, în cadrul simulării date vor fi: **MOBILITY-WP-MIN-SPEED=0 m/s**, **MOBILITY-WP-MAX-SPEED=20 m/s**, respectiv **MOBILITY-WP-PAUSE=40 s**.

La nivel de strat rețea, ca și protocol de rutare se va alege protocolul **AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector)**. Pe stratul legături de date va fi selectată tehnica de acces la mediu **CSMA/CA (IEEE 802.11)**.

Se va crea un fișier **application_mobility.conf** ce va fi utilizat ca fișier de configurare a simulatorului pentru aplicațiile rulate. Va fi rulat un număr de **15** aplicații de tip **CBR** alese în mod aleator între nodurile din cadrul simulării. Durata simulării va fi setată la cel puțin **200 s**.

Scenariul 1.

Folosind modelul **free-space** ca model de propagare și selectați succesiv cele trei modele menționate anterior. Pentru modelul de fading cu **distribuție de tip Ricean**, valoarea factorului **K** va fi **5**. Investigați performanțele comunicației în termeni de întârziere medie a pachetelor, informație utilă transmisă, număr total de pachete transmise în rețea.

Scenariul 2.

Folosind modelul **two-ray** ca model de propagare, repetați simulările de la scenariul anterior.

5. Întrebări

- a. Pentru valorile implicite setate la nivel de strat fizic, determinați raza de transmisie în cazul utilizării modelelor de propagare free-space și two-ray aplicând relațiile corespunzătoare.
- b. Care sunt categoriile de informații transmise în rețea? Suplimentar pachetelor de date, ce alte pachete mai sunt transmise?
- c. De ce la nivelul unor noduri mobile numărul pachetelor transmise la nivel de strat legături de date este mai mare decât cel al pachetelor transmise de la stratul aplicație (sursă)?
- d. De ce la nivelul unor noduri mobile numărul pachetelor recepționate la nivel de strat aplicație (destinație) este uneori mai mic decât numărul pachetelor recepționate la nivel de strat legături de date?

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 vor fi explicate diferențele apărute în scenariile rulate.

Bibliografie

- [1] Stalling, William, *Wireless Communications and Networking*, Prentice Hall, 2002
- [2] Ramjee Prasad, Marina Ruggieri, *Technology Trends in Wireless Communications*, Artech House, 2003