

2. SPECIFIČNOSTI PRENOSA SIGNALA MOBILNIM RADIO KANALOM

Mobilni radio kanal postavlja fundamentalna ograničenja kad su u pitanju performanse bežičnih komunikacionih sistema. Radio signal se prenosi linijom veze između predajnika i prijemnika koja može varirati od linije direktne vidljivosti (*line-of-sight* – LOS) do slučajeva u kojima je prenosni put ozbiljno ometan mnogobrojnim preprekama kakve su uzvišenja, zgrade, kuće, drveće i drugi objekti (NLOS - *non-line-of-sight*). Dodatno, kako je riječ o komunikaciji u pokretu, i brzina kretanja ima uticaja na nivo signala koji se postiže na mjestu prijema u situaciji kad se mobilni terminal kreće u prostoru. Generalno, prenos signala mobilnim radio kanalom se odvija u specifičnom ambijentu koji podrazumijeva prisustvo velikog broja najrazličitijih prepreka od kojih neke mogu biti pokretne (Slika 2.1).

Za razliku od kanala u fiksnim komunikacijama koji su stacionarni i predvidljivi, radio kanali su izuzetno slučajne prirode i kao takvi predstavljaju poseban izazov za sve vrste analiza. Njihovo modeliranje je istorijski jedan od najkompleksnijih djelova projektovanja mobilnog radio sistema i obično se realizuje na osnovu statističkog pristupa, zasnovanog na mjerenjima koja se realizuju posebno za svaki konkretni mobilni radio system.

2.1. Prostiranje radio talasa

Mehanizmi koji stoje iza prostiranja (propagacije) elektromagnetnih talasa u mobilnom radio kanalu su različiti, ali tri osnovna se mogu pripisati refleksiji, difrakciji i rasijanju.

Refleksija se dešava kada emitovani radio talas naiđe na prepreku čije su dimenzije značajno veće u poređenju sa talasnom dužinom emitovanog talasa. Signal se tipično reflektuje od površine Zemlje ili od zidova građevinskih objekata.

Difrakcija nastaje kada emitovani radio talas naiđe na ivicu prepreke koja se nalazi na putanji prostiranja signala. Ovim mehanizmom radio signal mijenja pravac čineći mogućim prijem i iza prepreke, odnosno u situacijama kada je linija direktne vidljivosti (LOS) između predajnika i

prijemnika blokirana. Na visokim frekvencijama, difrakcija, kao i refleksija, zavisi od geometrijskih karakteristika prepreke, kao i od amplitude, faze i polarizacije emitovanog talasa u tački difrakcije.

Rasijanje se dešava kada se radio signal prostire kroz sredinu koja sadrži nehomogenosti čije su dimenzije male u poređenju sa talasnom dužinom emitovanog talasa, i kada je koncentracija nehomogenosti u jedinici zapremine velika. Rasijani talasi se prostiru u svim pravcima, a rasijanje se obično dešava na grubim površinama ili objektima vrlo malih dimenzija.

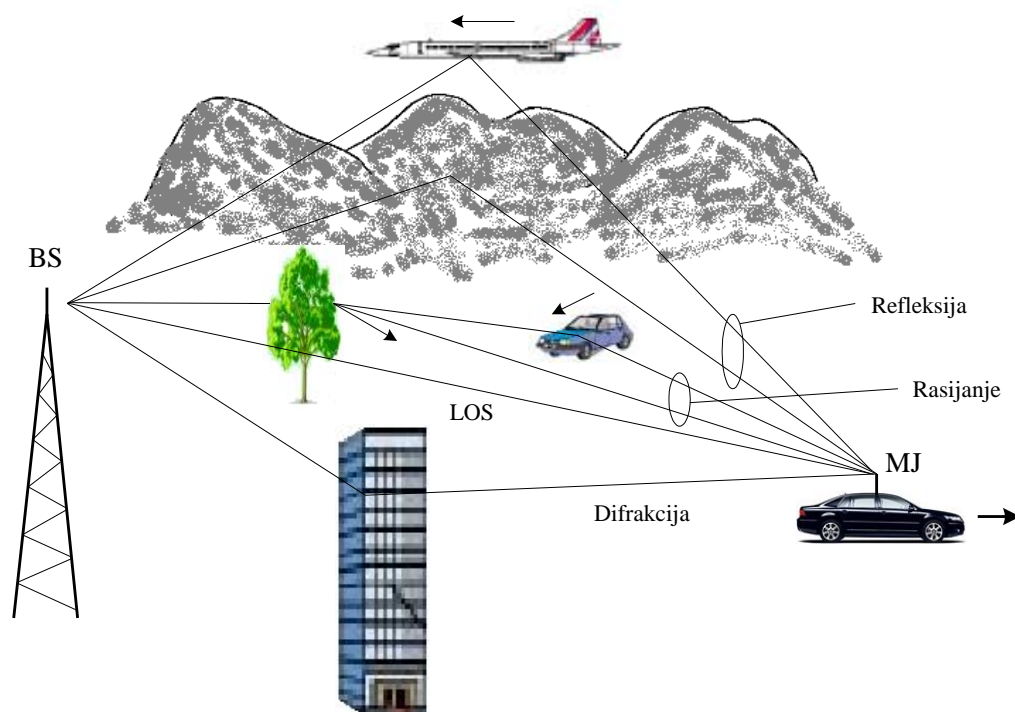
Većina mobilnih radio sistema funkcioniše u urbanim sredinama gdje ne postoji direktna linija vidljivosti između predajnika i prijemnika i gdje prisustvo visokih zgrada izaziva ozbiljne gubitke snage prenošenog signala uslijed difrakcije. Takođe, zbog višestrukih refleksija od objekata različitih dimenzija formiraju se elektromagnetni talasi koji se prenose odvojenim putanjama različitih dužina. Interakcija između ovih talasa dovodi do varijacija amplitude prenošenog signala na svakoj pojedinačno specificiranoj lokaciji, dok se istovremeno snaga radio talasa smanjuje kako se rastojanje između predajnika i prijemnika povećava. Sve te pojave se jednim imenom nazivaju fadingom, s tim što je moguće njihovo statističko razdvajanje na:

Long-term (large-scale) fading koji predstavlja spore fluktuacije snage primljenog signala oko srednjeg nivoa koje su uočljive na rastojanju od nekoliko kilometara;

Short-term (small-scale) fading koji predstavlja brze fluktuacije amplitude primljenog signala koje su uočljive u neposrednoj blizini prijemnika.

Modeli propagacije u mobilnom radio kanalu se tradicionalno fokusiraju na predviđanje srednje snage primljenog signala na određenoj udaljenosti od predajnika, kao i na promjene nivoa signala u neposrednoj blizini određene lokacije. Pri tome su modeli propagacije koji omogućavaju procjenu srednje snage signala za proizvoljno predajnik-prijemnik (TR) rastojanje korisni za procjenu oblasti radio pokrivanja predajnika i nazivaju se *large-scale* modelima, pošto karakterišu jačinu signala na velikim rastojanjima (nekoliko stotina ili hiljada metara). U principu, ovim modelima se utvrđuje slabljenje koje nastaje u prenosu signala na veća rastojanja, odnosno uzimaju se u obzir efekti *large-scale* fadinga. Navedeni efekti su dominantno uslovljeni konfiguracijom terena na kome se realizuje prostiranje talasa, kao i

činjenicom da i prostiranje radio talasa u teorijski slobodnom prostoru podrazumijeva određeno slabljenje, i u literaturi se često nazivaju i *shadowing*. S druge strane, postoje i *small-scale* (*small-scale fading*) modeli propagacije koji su fokusirani na brze fluktuacije nivoa primljenog signala na veoma kratkim rastojanjima (nekoliko talasnih dužina) ili u kratkom vremenskom intervalu (reda nekoliko sekundi).

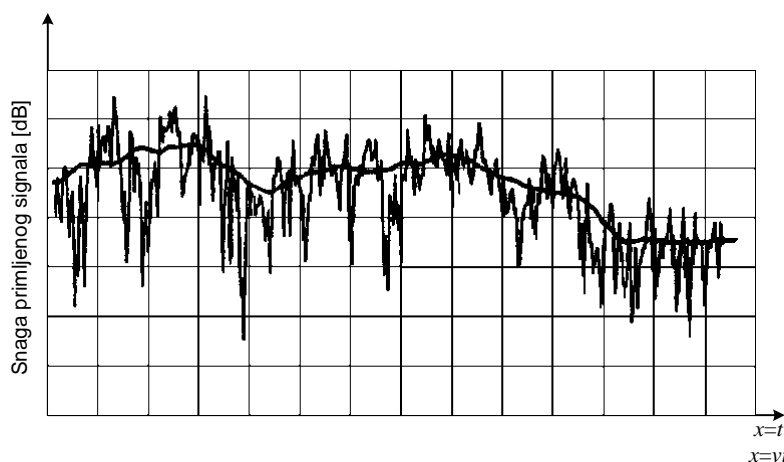


Slika 2.1 Ambijent prostiranja mobilnog radio signala

Ovim modelima se opisuju efekti koji nastaju u neposrednoj blizini mobilnog terminala, kad trenutni nivo primljenog signala brzo fluktuiraju, što dovodi do tzv. sjenki u signalu. Ta pojava se naziva i *multipath* fadingom i uzrokovana je direktno činjenicom da se signal formira superpozicijom brojnih reflektovanih i/ili rasijanih radio talasa koji se postiru po različitim putanjama čime se formira tzv. *multipath* okruženje na lokaciji prijema. Kako su faze pojedinih talasa slučajne, rezultatni talas se karakteriše značajnim varijacijama nivoa (najčešće slijedi Raileigh-ovu distribuciju), tako da snaga primljenog signala može varirati za čak tri ili četiri reda veličine (30 ili 40 dB) pri pomjeranju prijemnika na rastojanja od samo dijela talasne dužine. Pored toga, dolazi i do pojave tzv. *delay spread-a*, odnosno širenja

prenošenog impulsa u vremenu, čime se dodatno može značajno degradirati kvalitet komunikacije. Sa daljim udaljavanjem mobilnog terminala od predajnika na mnogo veća rastojanja, do izražaja dolazi postepeno slabljenje srednjeg nivoa primljenog signala, i kako je to već navedeno predikcija tog srednjeg nivoa signala, odnosno predikcija gubitaka snage signala, se realizuje primjenom *large-scale* modela propagacije.

Slika 2.2 ilustruje opisani *small-scale* (multipath) fading, kao i sporije *large-scale* (shadowing) varijacije, na primjeru jednog radio komunikacionog sistema u zatvorenom prostoru (*indoor*).



Slika 2.2 Ilustracija promjena nivoa mobilnog radio signala

2.2. Gubici propagacije

Kako je to već rečeno, *shadowing* ili *large-scale* fading opisuje slabljenje snage signala koje nastaje prilikom prostiranja radio signala uslijed povećanja rastojanja između predajnika i prijemnika u mobilnom radio kanalu. Pri tome, takvi gubici snage signala usled propagacije uzrokovani su u najvećoj mjeri generalnom topografijom terena. Generalno govoreći, snaga signala emitovanog sa bazne stanice opada sa rastojanjem. Mala visina antene mobilne jedinice, obično blizu Zemlje, dodatno povećava nivo ovih gubitaka, dok nepravilnosti terena izazivaju disipaciju snage koja se prostire po kanalu, čime se smanjuje nivo snage primljenog signala u mobilnoj jedinici, kao i u baznoj stanici za slučaj prenosa signala od mobilne jedinice ka baznoj stanici. Gubici tog tipa zajedno sa neizbježnim gubicima u slobodnom prostoru čine ukupne

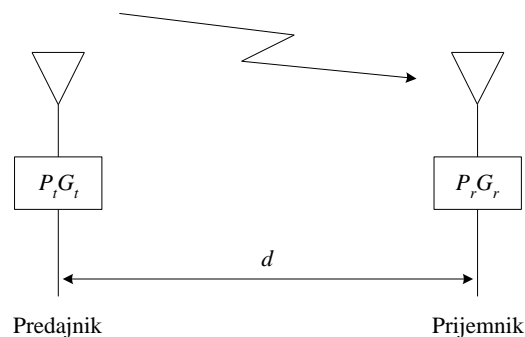
gubitke usled propagacije (prostiranja), koji dovode do varijacija srednje snage signala i opisuju se *large-scale (long-term)* fadingom.

2.2.1 Prostiranje u slobodnom prostoru

Model prostiranja u slobodnom prostoru se koristi za opisivanje mehanizma prostiranja signala u slučaju kada u oblasti u kojoj se odvija komunikacija ne postoje prepreke, tako da se signal od predajnika do prijemnika prostire samo po direktnoj putanji (LOS). Takva situacija je prikazana na Slici 2-3. Snaga primljenog signala P_r opada sa kvadratom rastojanja d između predajnika i prijemnika, i data je *Friis*-ovom formulom:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}, \quad d > 0. \quad (2-1)$$

U gornjoj relaciji P_t je emitovana snaga, G_t i G_r dobitak predajne i prijemne antene, respektivno, λ radna talasna dužina, i $L \geq 1$ faktor koji predstavlja hardverske gubitke u sistemu koji nemaju veze sa propagacionim gubicima. Proizvod $P_t G_t$ se naziva *efektivna izotropna izračena snaga* (EIRP) i predstavlja maksimalnu snagu koju zrači predajnik u pravcu maksimalnog dobitka antene (pravac glavnog snopa zračenja).



Slika 2.3 Model prostiranja u slobodnom prostoru

Gubitak snage signala koji se prostire u slobodnom prostoru (gubitak u slobodnom prostoru)

L_{free} dat je sa:

$$L_{free} \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right]. \quad (2-2)$$

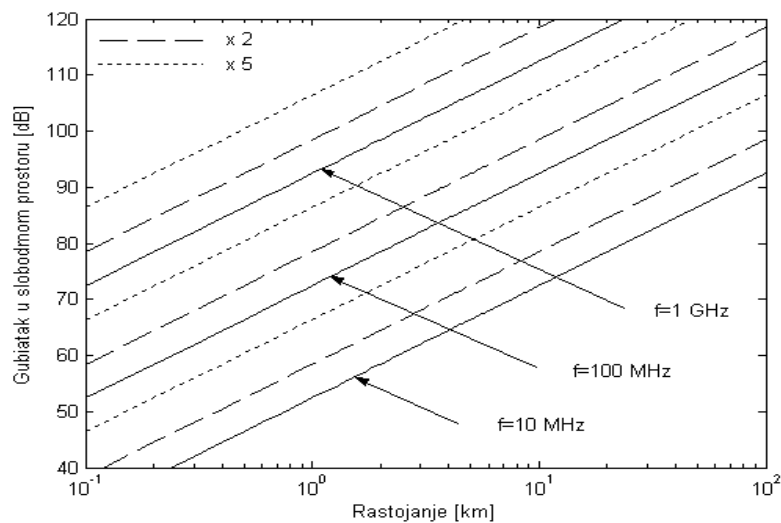
Ako pretpostavimo da antene imaju jedinični dobitak, gubitak u slobodnom prostoru se može izraziti kao:

$$L_{free}(\text{dB}) = -20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right). \quad (2-3)$$

Znajući da je $\lambda=c/f$ (c je brzina svjetlosti u vakuumu, f radna frekvencija) i uzimajući f u [MHz] i d u [km], jednačina (2-3) se može napisati u obliku:

$$L_{free}(\text{dB}) = 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d). \quad (2-4)$$

Na slici 2.4 je prikazana zavisnost gubitaka u slobodnom prostoru od rastojanja za različite vrijednosti radne frekvencije.



Slika 2.4 Gubitak u slobodnom prostoru u zavisnosti od rastojanja i radne frekvencije

Friis-ova formula za predikciju snage primljenog signala važi samo u dalekoj zoni zračenja predajne antene. Zona dalekog zračenja, ili *Fraunhofer*-ova zona određena je *Fraunhofer*-ovim rastojanjem d_f . Ovaj parametar zavisi od najveće linearne dimenzije predajne antene D i radne talasne dužine λ , i može se izračunati iz jednačine:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}. \quad (2-5)$$

pri čemu pored jednačine (2-5) treba da su zadovoljeni i uslovi $d_f \gg D$ i $d_f \gg \lambda$.

Dakle, jednačina (2-1) ne važi za $d=0$. Iz tog razloga, praktično je snagu primljenog signala na rastojanju d od predajnika izraziti preko snage primljenog signala na referentnom rastojanju d_{ref} . U tom smislu mogu se koristiti sledeće jednačine:

$$P_r(d) = P_r(d_{ref}) \left(\frac{d_{ref}}{d} \right)^2, \quad d \geq d_{ref} \geq d_f, \quad (2-6)$$

$$P_r(d)(dB) = 10 \log(P_r(d_{ref})) + 20 \log \left(\frac{d_{ref}}{d} \right). \quad (2-7)$$

s tim da referentno rastojanje d_{ref} treba odabrati tako da leži u zoni dalekog zračenja. Za *indoor* okruženje najčešće se uzima $d_{ref}=1$ m, a za *outdoor* okruženje $d_{ref}=(100-1000)$ m.

Prethodno napisane jednačine mogu se primijeniti samo za mali broj praktičnih slučajeva i to isključivo kao početna aproksimacija u postupku predikcije gubitaka usljed prostiranja. Mjerenja sprovedena na konkretnim sistemima i u realnim uslovima pokazuju da snaga primljenog signala zavisi od rastojanja po zakonu:

$$P_r \propto d^{-n} \quad (2-8)$$

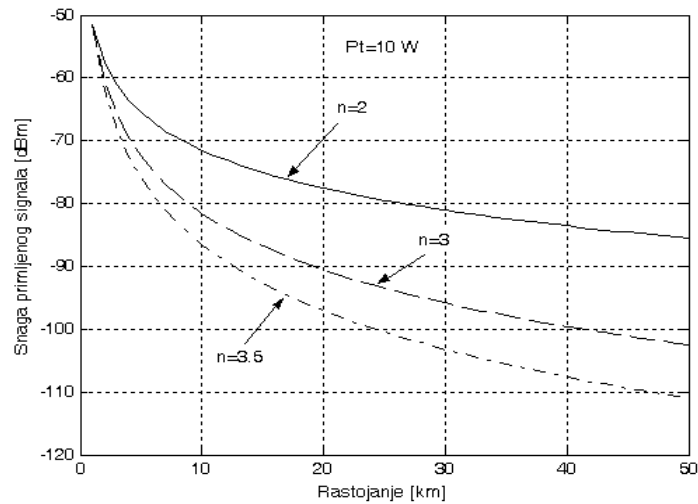
Sa n je označen koeficijent slabljenja koji zavisi od okruženja i karakteristika sredine u kojoj se odvija komunikacija. Pri tome može uzimati različite vrijednosti, od 2 za slučaj LOS prostiranja u slobodnom prostoru, do 6 za slučaj NLOS prostiranja u gusto naseljenom urbanom području. Uvrštavajući parametar n u jednačinu (2-7) dobijamo opštu relaciju za snagu primljenog signala u obliku:

$$P_r(d)(dB) = 10 \log(P_r(d_{ref})) + 10n \log \left(\frac{d_{ref}}{d} \right) \quad (2-9)$$

Na slici 2.5 prikazana je snaga primljenog signala u funkciji rastojanja za razne vrijednosti parametra n .

2.2.2 Prostiranje iznad ravne površine Zemlje

Prethodno opisani model prostiranja u slobodnom prostoru može se primijeniti samo u malom broju praktičnih slučajeva i to samo kao prva aproksimacija u postupku predikcije nivoa primljenog signala, odnosno utvrđivanja efekata *shadowing*-a. Medjutim, model prostiranja iznad ravne, djelimično provodne površine Zemlje, predstavlja dobar model za predikciju snage primljenog signala u LOS regionu. U tom slučaju analiza prostiranja radio signala iznad ravne



Slika 2.5 Snaga primljenog signala u zavisnosti od rastojanja i parametra n

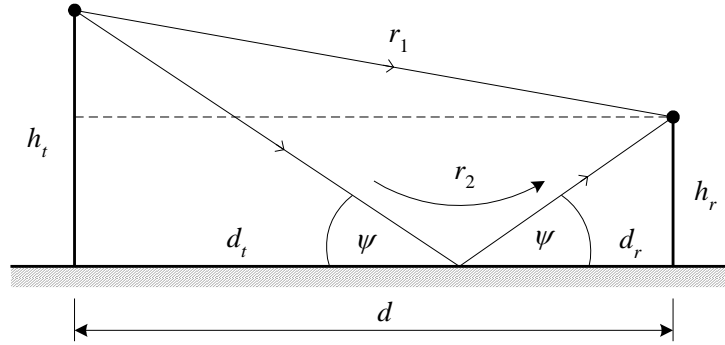
površine Zemlje uključuje direktni, reflektovani i površinski talas (*Bullington-ov* princip). Relacija koja povezuje emitovanu i primljenu snagu se može dati u obliku:

$$P_r = P_0 \left| 1 + Re^{j\Delta} + (1-R)Ae^{j\Delta} + \dots \right|^2 \quad (2-10)$$

U gornjoj relaciji prvi član predstavlja direktni talas, drugi reflektovani talas, treći član je površinski talas, dok ostali članovi predstavljaju indukovano polje i sekundarne efekte površine. Pri tome je P_0 očekivana primljena snaga pri prostoranju u slobodnom prostoru, R kompleksni koeficijent refleksije, A koeficijent apsorpcije površinskog talasa, Δ fazna razlika direktnog i reflektovanog talasa.

Kako koeficijent apsorpcije površinskog talasa zavisi od frekvencije, na VHF i UHF opsegu se može zanemariti površinski talas. Takav slučaj, koji onda uključuje direktni i reflektovani talas, prilazan je na slici 2.6. Tada se jednačina (2-10) može napisati u obliku:

$$P_r \approx P_0 \left| 1 + Re^{j\Delta} \right|^2 = P_0 (1 + |R| + 2|R| \cos(\Delta + \xi)) \quad (2-11)$$



Slika 2.6 Model prostiranja iznad ravne površine

Uvedeni koeficijent refleksije R zavisi od upadnog ugla ψ , polarizacije talasa i karakteristika zemljišta na kome se dešava refleksija, i dat je sa:

$$R = \frac{\sin \psi - z}{\sin \psi + z} = |R|e^{j\xi} \quad (2-12)$$

gdje je ψ upadni (prelomni) ugao, definisan kao:

$$\tan \psi = \frac{h_t}{d_t} = \frac{h_t}{h_t d / (h_t + h_r)} = \frac{h_t + h_r}{d} \quad (2-13)$$

Impedansa zemljišta z se definiše posebno za horizontalnu i za vertikalnu polarizaciju:

$$z = \sqrt{\epsilon_g - \cos^2 \psi} \quad , \quad \text{za horizontalnu polarizaciju} \quad (2-14a)$$

$$z = \sqrt{\epsilon_g - \cos^2 \psi} / \epsilon_g \quad , \quad \text{za vertikalnu polarizaciju} \quad (2-14b)$$

Sa ϵ_g je označena kompleksna dielektrična konstanta koja zavisi od dielektrične konstante vakuuma ϵ_0 , kao i od dielektrične konstante ϵ i provodnosti σ zemljišta:

$$\epsilon_g = \epsilon - j \frac{\sigma}{2\pi f \epsilon_0} \quad (2-15)$$

Generalno su dužine putanja direktnog i reflektovanog talasa označene sa r_1 i r_2 , respektivno. Zbog promjene faze signala pri refleksiji može doći do destruktivne interferencije između direktnog i reflektovanog talasa kada je $r_1 \approx r_2$. Ovakva situacija nastaje za manje visine antene bazne stanice i veća rastojanja između bazne stanice i mobilne jedinice. Stoga se smatra da se

ovdje opisani model prostiranja iznad ravne površine može sa dovoljnom tačnošću primijeniti za rastojanja bazna stanica – mobilna jedinica od nekoliko kilometara i efektivne visine antene bazne stanice veće od 50 m.

Razlika između dužina putanja direktnog i reflektovanog talasa je:

$$r_2 - r_1 = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \quad (2-16)$$

Kada je $d \gg h_t + h_r$ jednačina (2-16) se može pojednostaviti razvojem u *Taylor*-ov red:

$$r_2 - r_1 = d \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_t + h_r}{d} \right)^2 + \dots \right] - d \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_t - h_r}{d} \right)^2 + \dots \right] \approx \frac{2h_t h_r}{d} \quad (2-17)$$

Ova razlika dužina putanja prouzrokuje faznu razliku koja iznosi:

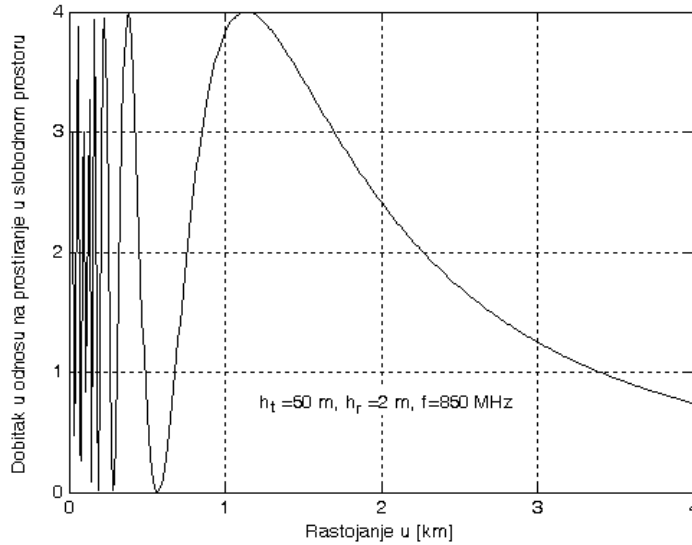
$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (2-18)$$

Za frekvencije iz UHF opsega i za male upadne uglove ($\psi \approx 0$), koeficijent refleksije je $R \approx -1$ tako da se primljena snaga može izraziti kao:

$$P_r \approx P_0 \cdot 2(1 - \cos \Delta) = P_0 \cdot 4 \sin^2 \left(\frac{\Delta}{2} \right) = P_0 \cdot 4 \sin^2 \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad (2-19)$$

Izvedena jednačina (2-19) pokazuje da LOS prostiranje iznad ravne površine Zemlje rezultira maksimalnim dobitkom od 6 dB u odnosu na prostiranje u slobodnom prostoru, u slučaju kada je $\Delta/2$ neparan umnožak od $\pi/2$, odnosno poništenjem, u slučaju kada je $\Delta/2$ umnožak od π . Za ostale vrijednosti fazne razlike dobitak se kreće od 0 do 4 puta, što zavisi od efektivne visine predajne i prijemne antene i rastojanja između njih. Na slici 2.7 prikazan je dobitak pri LOS prostiranju iznad ravne površine Zemlje u odnosu na prostiranje u slobodnom prostoru. Kombinujući jednačine (2-1) i (2-19), snaga primljenog signala koji se prostire iznad ravne Zemljine površine, se može izraziti kao:

$$P_r = P_t G_t G_r \cdot 4 \sin^2 \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2-20)$$



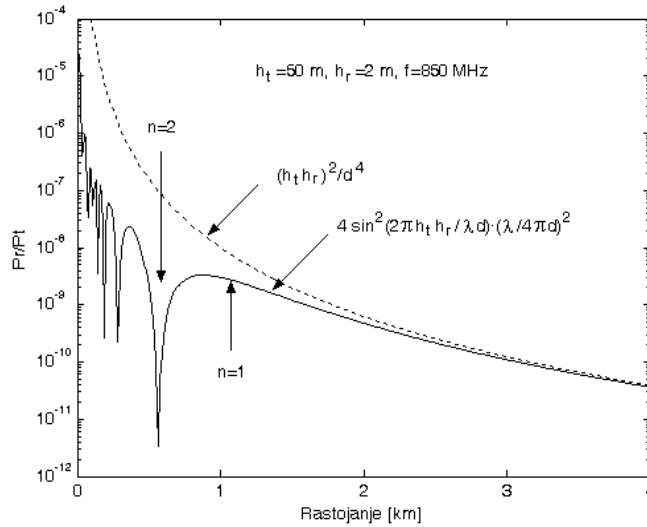
Slika 2.7 Dobitak pri LOS prostiranju iznad ravne površine Zemlje

Za $\Delta/2 < 0.3 \text{ rad}$ može se napraviti aproksimacija $\sin x \approx x$, pa se jednačina (2-20) svodi na:

$$P_r \approx P_t G_t G_r \cdot 4 \cdot \left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right)^2 \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = P_t G_t G_r \left(\frac{h_t h_r}{d^2} \right)^2, \quad d > d' \quad (2-21)$$

gdje je $d' \approx 20h_t h_r / \lambda$ rastojanje za koje važi $\Delta/2 = 0.3 \text{ rad}$. Na slici 2.8 prikazano je ukupno slabljenje pri prostiranju iznad ravne Zemljine površine u skladu sa jednačinama (2-20) i (2-21) uz pretpostavku jediničnog dobitka predajne i prijemne antene. Pri tome, iz jednačine (2-21) se može zaključiti da, za rastojanja $d > d'$, snaga primljenog signala opada sa četvrtim stepenom rastojanja, odnosno slabljenje signala sa porastom rastojanja d se povećava 40 dB/dec, što je i eksperimentalno potvrđeno. Gubitak snage signala kod ovog modela može se izraziti u dB jednačinom:

$$L_{Los} \text{ (dB)} = 40 \log(d) - (10 \log(G_t) + 10 \log(G_r) + 20 \log(h_t) + 20 \log(h_r)) \quad (2-22)$$



Slika 2.8 Ukupno slabljenje pri LOS prostiranju iznad ravne površine Zemlje

Jednačina (2-21) daje veoma koristan rezultat pri proračunu snage primljenog signala za prethodno opisani model prostiranja. Međutim, ona ima i određenih nedostataka koji se prije svega odnose na zanemarivanje zavisnosti slabljenja od radne talasne dužine. Eksperimentalni podaci pokazuju da snaga primljenog signala zavisi od frekvencije po zakonu:

$$P_r \propto f^{-n}, \quad 2 \leq n \leq 3 \quad (2-23)$$

Takođe, jednačina (2-21) pokazuje smanjenje slabljenja od 6 dB/oct sa porastom efektivne visine antene bazne stanice, odnosno mobilne jedinice. Ovaj rezultat je za visinu antene bazne stanice eksperimentalno potvrđen za slučaj da dodje do udvostručenja visine antene bazne stanice (pri ravnom terenu) kada se slabljenje zaista smanjuje za 6dB. Međutim, istovremeno je pokazano da za slučaj da se visina antene bazne stanice h_b poveća ili smanji za neki drugi iznos, važi:

$$\text{Povećanje(smanjenje)slabljenja} = 20 \log_{10} \frac{h'}{h_b}$$

gdje je h' prvobitna, a h_b promijenjena visina antene. S druge strane, kad je u pitanju visina antene mobilne jedinice, eksperimentalni rezultati pokazuju da na primjer pri visini antene mobilne jedinice od 3 m smanjenjem visine na pola, slabljenje raste samo 3dB.

2.2.3. Korekcije idealnih uslova prostiranja

Sa porastom frekvencijskih opsega na kojima funkcionišu mobilni radio sistemi, potrebno je uvesti korekcije u predstavljeni model prostiranja radio talasa iznad ravne Zemljine površine. Različite nepravilnosti sve manjih dimenzija na trasi postaju relevantne i utiču na slabljenje signala. Mjera "hrapavosti" površine koja daje indikaciju opsega validnosti jednačine (2-10) je data Reyleigh-evim kriterijumom, koji definiše koeficijent refleksije:

$$C = \frac{4\pi\sigma\theta}{\lambda} \quad (2-24)$$

gdje je standardna devijacija površinskih nepravilnosti u odnosu na srednju visinu terena, je talasna dužina, a je upadni ugao radio talasa izražen u radijanima. Eksperimentalni rezultati pokazuju da se za $C < 0,1$ ostvaruje potpuna refleksija, tako da se površina može smatrati glatkom. Površine se smatraju izrazito "hrapavim" za vrijednosti C koje prelaze 10 i kada je amplituda reflektovanog talasa veoma mala. Bulington je eksperimentalno utvrdio da je većina praktičnih putanja na mikrotalasnim frekvencijama relativno "hrapava" sa koeficijentima refleksije u opsegu od 0,2-0,4.

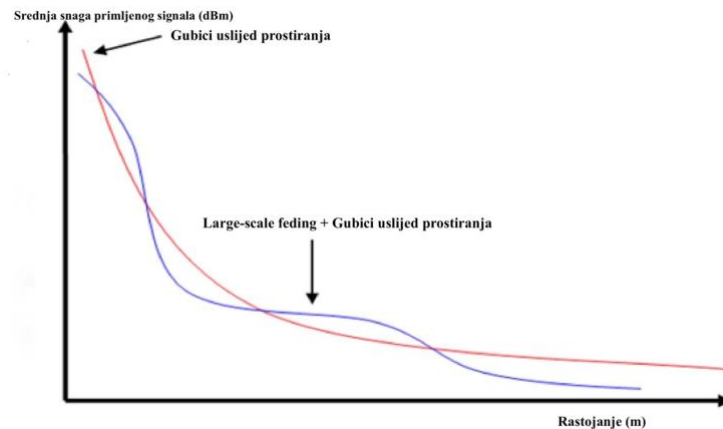
Na višim učestanostima mikrotalasni mobilni radio signali su oslabljeni i prisustvom pojava tipa kiše, snijega, magle. Gubici zavise od radne učestalosti i količine vlage na putu prostiranja talasa. Na tim frekvencijama dolazi do frekventno selektivne apsorpcije zbog prisustva kiseonika i vodene pare u atmosferi. Pri tome se značajna apsorpcija uslijed vodene pare pojavljuje iznad 24 GHz, dok se za kiseonik to dešava iznad 60 GHz. Slabljenje uslijed kiše je takođe eksperimentalno proučavano i pokazano da se na frekvencijama iznad 10 GHz efekti kiše ne mogu se zanemariti.

Pored ovih faktora korekcije, postoje i drugi faktori kao što su izolovani planinski grebeni, orijentacija ulice u odnosu na baznu stanicu, prisustvo ili odsustvo lišća, i u slučaju valovitog terena položaj mobilnog terminala u odnosu na srednju visinu trase. Ovi dodatni efekti direktno ukazuju na činjenicu da su uvijek moguća odstupanja između izmjerenih vrijednosti nivoa signala i vrijednosti koje se predvide primjenom predstavljenih modela.

2.3 Large-scale fading

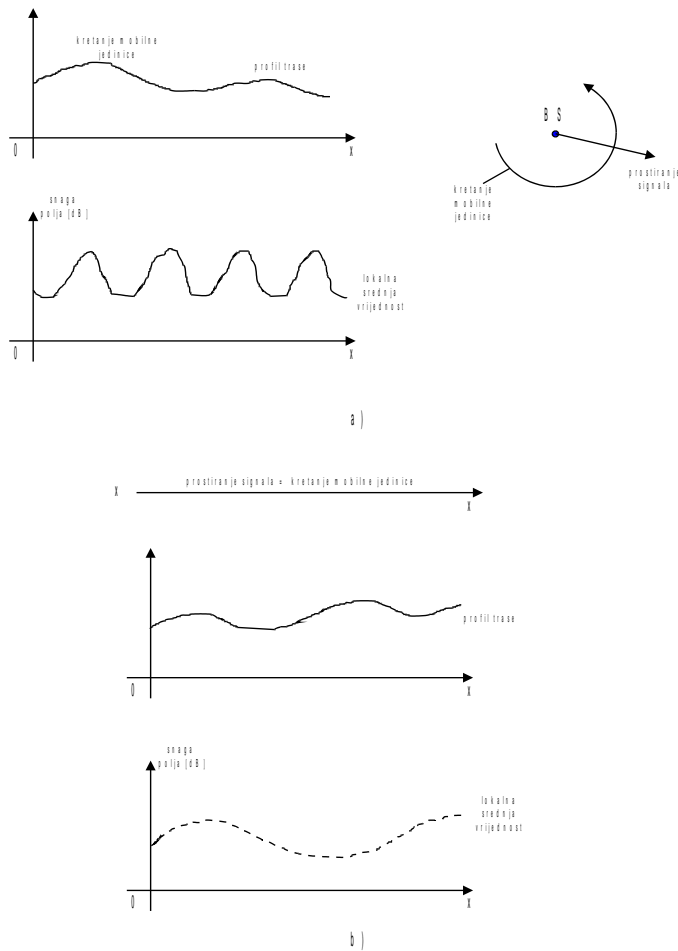
Kako je to prethodno pokazano, gubici snage signala koji se dešavaju prilikom prostiranja signala u mobilnom radio kanalu na veća rastojanja obuhvataju kako gubitke usled prostiranja u slobodnom prostoru, tako i one gubitke koji su posledica prostiranja iznad Zemljine površine. Pri tome, nepravilan profil trase i prepreke na putu prostiranja talasa dovode do varijacija srednje vrijednosti snage prenošenog radio signala, odnosno do efekata koji se opisuju pojmom *large-scale fadinga (shadowing)*, kao što je to ilustrovano na slici 2.9.

Eksperimentalna mjerenja pokazuju da su promjene srednjeg nivoa signala povezane sa rastojanjem izmedju bazne stanice i mobilne jedinice, visinom antene bazne stanice, frekvencijskim opsegom. Takodje su utvrđene i određene zavisnosti od orijentacije ulica, uzvišenja, prisutnosti vodenih površina duž trase... Generalno, *shadowing* je uglavnom uzrokovan konfiguracijom terena i okruženjem izmedju bazne stanice i mobilne jedinice. Pri tome, tereni se po konfiguraciji mogu klasifikovati na: otvoreni prostor, ravan teren, brdoviti teren i planinska oblast. Zavisno od vještački sagradjenih objekata može se govoriti o: ruralnoj oblasti, kvazi-suburbanoj, suburbanoj i urbanoj oblasti u kojoj se komunikacija odvija.



Slika 2.9 Promjene srednje snage mobilnog radio signala

Na dva primjera na slici 2.10 pokazani su efekti *large-scale* fedinga. Prvi primjer je prikazan na slici 2.10a i odnosi se na situaciju kada se mobilna jedinica kreće u krug oko bazne stanice. Drugi primjer (slika 2.10b) opisuje slučaj kada se mobilna jedinica udaljava od bazne stanice. U prvom slučaju fluktuacije usled *large-scale* fedinga u primljenom signalu su direktno uslovljene konfiguracijom terena oko bazne stanice. Treba uočiti da se u ovom primjeru putanja prostiranja signala razlikuje od putanje kretanja mobilne jedinice. U drugom slučaju *large-scale* feding u primljenom signalu zavisi od konfiguracije terena u smjeru kretanja mobilne jedinice, pri čemu se putanja mobilne jedinice poklapa sa putanjom prostiranja talasa. Kao što se vidi sa slike 2.10b, profil trase je u tom slučaju u strogoj korelaciji sa nivoom primljenog signala. Odnosno, primljeni signal je na primjer jači kad je mobilna jedinica na vrhu brda i slabiji kad se prima u dolini.

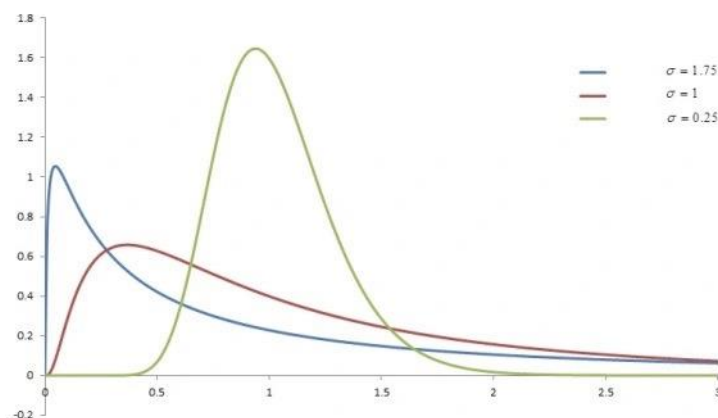


Slika 2.10 Efekti *large-scale* fedinga

Za fiksne visine antena bazne i mobilne stanice, frekvenciju i rastojanje od bazne stanice, pokazuje se da distribucija primljenih signala unutar istog tipa okruženja (urbano, na primjer) prati normalnu (Gaussovu) raspodjelu kada se nivo primljenog signala prikazuje u decibelima. Takva raspodjela vjerovatnoće se naziva log-normalnom (slika 2.11) i odgovarajuća funkcija gustine vjerovatnoće je data sa:

$$p(\hat{r}_d) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\hat{r}_d - \bar{\hat{r}}_d)^2 / 2\sigma^2} \quad (2-31)$$

Pri tome je srednji nivo anvelope primljenog signala \hat{r}_d u gornjoj relaciji izražen u dB, dok σ predstavlja standardnu devijaciju čije vrijednosti zavise od konfiguracije terena. Upravo se uticaj konfiguracije terena direktno modelira uzimanjem adekvatne vrijednosti za standardnu devijaciju σ log-normalne raspodjele anvelope sa *large-scale* fadingom. Te vrijednosti su na primjer u granicama od 5dB do 10dB za urbani teren.



Slika 2.11 Log-normalna funkcija gustine vjerovatnoće

Predstavljeni statistički model kojim je opisana distribucija lokalne srednje vrijednosti nivoa signala može se koristiti za određivanje zone pokrivanja bazne stanice, koja se definiše kao oblast u kojoj je nivo primljenog signala iznad neke prethodno utvrđene vrijednosti r_0 koja predstavlja “prag” prijema.

Relativno jednostavno se može odrediti procenat lokacija (u oblasti fiksnog radijusa $d = D$ u odnosu na baznu stanicu) na kojima mobilni terminal prima signal čija je srednja vrijednost iznad „praga“. Odabrana vrijednost "praga" ne mora biti prag šuma prijemnika, ali može biti bilo koja vrijednost koja obezbjeđuje prihvatljiv nivo signala, uzimajući u obzir i varijacije

uslijed *multipath* fedinga. Log-normalna funkcija gustine vjerovatnoće \hat{r}_d je data relacijom (2-31), na osnovu čega se može naći vjerovatnoća da nivo primljenog signala prevazilazi vrijednost "praga":

$$P_{r_0}(D) = P[\hat{r}_d \geq r_0] = \int_{r_0}^{\infty} \hat{r}_d d\hat{r}_d = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{r_0 - \bar{\hat{r}}_d}{\sigma \sqrt{2}}\right) \quad (2-32)$$

Ako su poznate izmjerene ili teorijske vrijednosti za $\bar{\hat{r}}_d$ i za σ u oblasti interesovanja, može se odrediti procenat oblasti gdje srednji nivo signala prelazi vrijednost r_0 . Na primjer, u radijusu gdje je srednja vrednost log-normalne vrijednosti anvelope signala -100 dBm ($\bar{\hat{r}}_d = -100$ dBm na nekoj određenoj udaljenosti D i za datu predajnu snagu) i uz pretpostavku da "prag" iznosi -110 dBm, a da je $\sigma = 10$ dB, dobija se:

$$P_{r_0}(D) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 0.84$$

što znači da se može smatrati da će u pretpostavljenim okolnostima, za 84% lokacija kružne oblasti radijusa D oko bazne stanice biti ispunjeni uslovi pokrivanja radio signalom definisani zadatim minimalnim nivoom (pragom) srednje vrijednosti primljenog signala.