

www.rfprop.com (katedra)

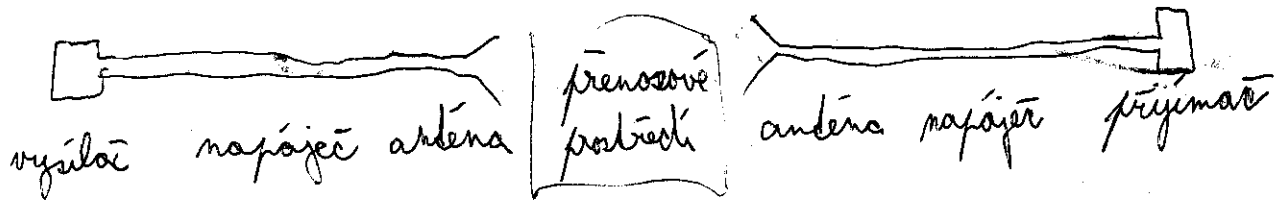
středa 26.10. měřící vůz 12, 13, 14 hod

<http://pitbul.wz.cz>

1

Úvod do anténní techniky

Lit: Mariani, Pecháč...



$$Z_A = R_A + jX_A$$

$$R_A = R_{V12} + R_{2TR}$$

Z_A ... vst. imp.

vyst. odp. antény

obraz -11-

$$Z_g = R_g + jX_g$$

Z_g ... vst. imp. generatoru

Vyst. výkon

$$P_{V12} = \frac{1}{2} R_{V12} |I_g|^2$$

Impedanční přizpůsobení antény

$$R_{V12} + R_{2TR} = R_A = R_g$$

$$X_A = -X_g$$

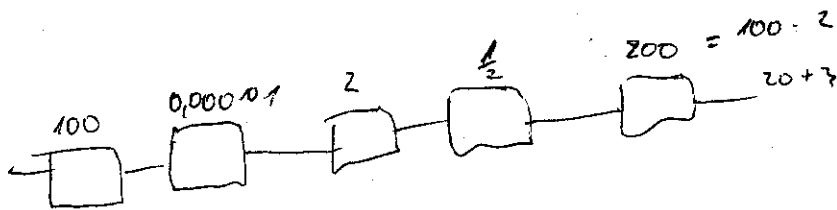
$$\Gamma = \frac{Z_i - Z_0}{Z_i + Z_0}$$

číslo odrazu

$$PSV = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

poměr stoj. vln

$$|\Gamma| = \frac{PSV - 1}{PSV + 1}$$



$10 \log L$

20

-50

f3

-3

+23

dB - bezrozměrné číslo - poměr
o výkonu

výkonový činitel odrazu

Úhlové vlastnosti antén

Izotropický zářič

$$E_{ef} = \frac{\sqrt{30 P_{uy}}}{r}$$

ef. hodnota intenzity

Směrová anténa

Účinnost antény D

jak je intenzita vyzařování v určeném směru vyšší než referenční zářivost

$$D_{dB} = 10 \log D \quad [dB (dBi)]$$

vůči izotrop. zářivosti

~~pro~~

Zisk antény G

$P_{out} \cdot G$... efektivní izotrop. vyzařovaný výkon
EIRP

Ideální přenosová rovnice (Friisův vztah)

$$w_r = \frac{P_v G_v}{4\pi r^2}$$

$$A_p = G_p \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$P = w_r A_p = P_v G_v G_p \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2$$

Rovnice ideálního přenosu

L_o - FSL - ztráty volným prostorem

P_{dBm} výkon vůči mW $10 \log \frac{P_w}{10^{-3}}$

$$P_r = P_v + G_v + G_p - L_o - L_t$$

další ztráty

②

Příklad

$$f = 2,45 \text{ GHz}$$

$$P_v = 50 \text{ mW}$$

$$P_p = -90 \text{ dBm} \quad \text{požadavek na přijatý výkon}$$

$$G_v = 11 \text{ dBi}$$

$$G_p = 2 \text{ dBi}$$

$$d = ?$$

jak daleko to bude fungovat?

$$P_v = 17 \text{ dBm}$$

$$\frac{100 \text{ mW}}{2}$$

$$\begin{matrix} 20 \text{ dBm} \\ -3 \text{ dBm} \end{matrix}$$

$$P_p = P_v + G_v + G_p - L_o$$

$$L_o = P_v + G_v + G_p - P_p = 17 + 11 + 2 + 90 = 120 \text{ dB}$$

$$L_o = 20 \log(4\pi d/\lambda) = 20 \log(4 \cdot 3,14 \cdot d / (300/2450))$$
$$= 20 \log(102,6 \cdot d)$$

$$d = 10^{\frac{120/20}{102,6}} = 9746,6 \text{ m}$$

$$EIRP < 20 \text{ dBm} \quad ?? \quad \text{je splněno?}$$

není

Základní typy šíření elmag. vln

- přímenní
 - povrchová (ohybová) vlna $h_z' \ll \lambda/2$
šíření podél rozhraní země-vzduch
 - prostorová vlna, $h_z \gg \lambda/2$
 - přímá
 - odražená
 - rozptýlená
 - ...
- troposférická vlna
- ionosférická vlna (oblast KV)

Přímenní prostorová vlna

- troposféra
 - refrakce
 - útlum a depolarizace hydrometeorů
- interakce s terémem a překážkami

Úslum atmosféry

1. rád. ohno do 60 GHz

Vliv dešťových kapek

útlum

depolarizace (kapky nejsou symetrické, $\therefore$ padají křivě

Atmosférická refrakce, index lomu troposféry

$$n = \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{index lomu}$$

standardně s výškou klesá

$\rightarrow$ zakřivuje se směrem k zemi

Modifikovaný index lomu N (radio refractivity)

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \quad [N\text{-jednotky}]$$

$$N = \frac{77,6}{T} \left(p + \frac{4810,2}{T} \right)$$

T teplota vzduchu v K

p celkový tlak v hPa

e tlak vodních par v hPa

(platí do cca 100 GHz)

Výškový profil N pro pozemní spoje
stačí lineární aproximace

$$\frac{\partial N}{\partial h} = -40 \text{ N/km}$$

standardní stav
atmosféry

Zakřivení paprsku v troposféře

$$R_k = \frac{10^6}{-\frac{dn}{dh}}$$

standardní atmosféra

$$R_k = \frac{10^6}{4 \cdot 10^{-2}} = 25000 \text{ km}$$

subrefrakce

standardní lom

superrefrakce

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dh} &> -40 \text{ N/km} \\ &= -40 \text{ N/km} \\ &< -40 \text{ N/km} \end{aligned}$$

$$\frac{dn}{dh} = -157 \rightarrow R_k = \text{poloměr Země}$$

< -157 ~~atmosféra~~ $\rightarrow$ vlnovodný kanál (ducting)

└ přilehající k Zemi

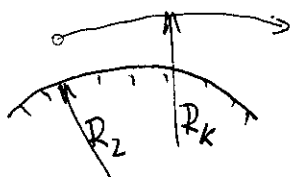
└ nepřilehající " "

$\rightarrow$ šíření narušených signálů do dálky

(5)

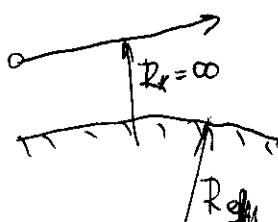
Efektivní poloměr Země

rádiový paprsek zakřivený $\rightarrow$ narovnáme a vzhlédem k zemi i povrch Země



$$\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_e} - \frac{1}{\infty}$$

$$R_e = \frac{R_2}{1 - \frac{R_2}{R_k}}$$



$$\frac{1}{R_k} = - \frac{dn}{dh} = - \frac{dN}{dh} 10^{-6}$$

$$\frac{R_e}{R_z} = k_{ef} = \frac{1}{1 + R_z \frac{dN}{dh} 10^{-6}}$$

standardní atmosféra

$$k_{ef} = \frac{4}{3} \quad R_e = \frac{4}{3} \cdot 6378 = 8500 \text{ km}$$

možnosti

- adm. lom. nenastává

$$k=1, R_e=R_z$$

- kladný lom

- sd. adm. lom

$$R_e > R_z$$

$$k = \frac{4}{3}, \frac{dN}{dh} = -40 \text{ N/km}$$

- křivkový lom

$$R_e = \infty$$

$$k = \infty, \frac{dN}{dh} = -157 \text{ N/km}$$

- srovnávací kanál

$$R_e < 0$$

$$k < 0, \frac{dN}{dh} < -157 \text{ N/km}$$

s výškou rychle
stoupá T (tepl. inverze)
a klesá vlhkost

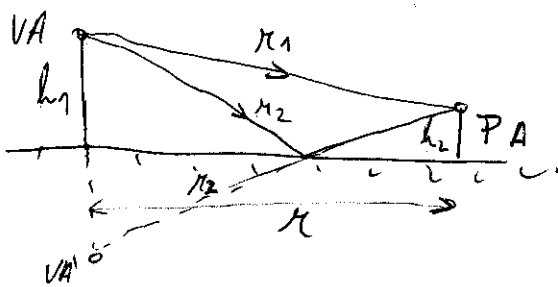
- záporný lom

$$R_e < R_z$$

$$k < 1, \frac{dN}{dh} > 0 \text{ N/km}$$

s výškou rychle klesá T a roste vlhkost

Čívení nad rovinnou zemí



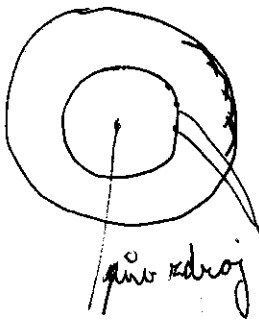
$$\Delta r = r_2 - r_1 = \frac{2h_1 h_2}{r}$$

← vln. délka → změna fáze
různoběžnosti

$$d_{\text{max}} = \frac{4h_1 h_2}{\lambda}$$

při menší vzdál rychle
střídání maxim a minim

Huygensův princip



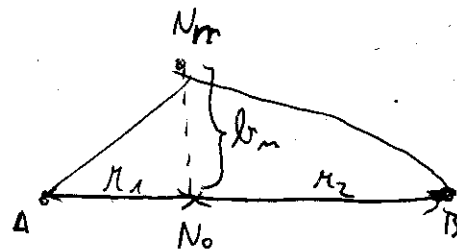
nekonečně zdrojův kár.
na vlnoploše

→ složením vlníček výsl.
vlnoplocha jako od přít.
zdrojů

→ ohyb vlny - difrakce - na ostrém břiše

Fresnelovy zóny

$$b_m = \sqrt{\frac{\lambda r_1 r_2 m}{\lambda r_1 + r_2}}$$



kóna tvoří rotační elipsoid opsaný anténám
karakteristický je 1. F. kóna

Mikrovlnný rr spoj



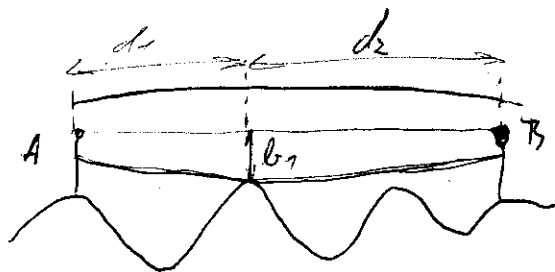
vliv prostředí na šíření

- zastínění a difrakce šířením / přecházení
- odrazy od terénu a překážek
- útlum atm. plyny
- vícecestné šíření (anomálie v troposféře)
- útlum hydrometeorů - , prach, písek

Plánování spoje

"Prímá viditelnost", LOS, line-of-sight

kritériem 1. Fresnelova zóna - stačí 60% poloměru nekastíněno



$$b_1 = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}}$$

v našich aplikacích poloměr 1. FZ v jednotkách metrů

Terénní profil

- mapy, DMT
- souřadnice
- kolebnění, křivka - les vyrostl... barák se postaví
- rozlehlé vodní plochy - dobře odráží
- osamocené terénní objekty
- užít v úvahu zakřivení země - mapa je přenesená do roviny

Zakřivení zemského povrchu

$$x = \frac{R_1 R_2}{2R_2} \quad \text{korekce výšky}$$

d [km]	x [m] uprostřed
0,1	0,0002
1	0,02
10	2
100	200

ke skalnímu refrakci - místo R_2 dáme $R_e = kR_2$
stand. atm $R_e = \frac{4}{3} R_2$

$k=3$ pro výpočet rušivých signálů

Splnění kritéria volného profilu podle ITU-R

- 1) výpočet výšek antén aby 1. F. elipsoid nerostlíněn
pro $h = \frac{4}{3}$ (60% nek)
- 2) stanovení h_e pro 99,9% času nejhoršího měsíce
(dáno statistickými měřeními) z grafu
- 3) výpočet výšek pro $h = h_e$, aby 30% poloměru
volných (0% pro osamoc. překážky)
- 4) vzt. vyšší hodnoty výšek z 1) a 3)

4

Pr.

$$d = 31 \text{ km}$$

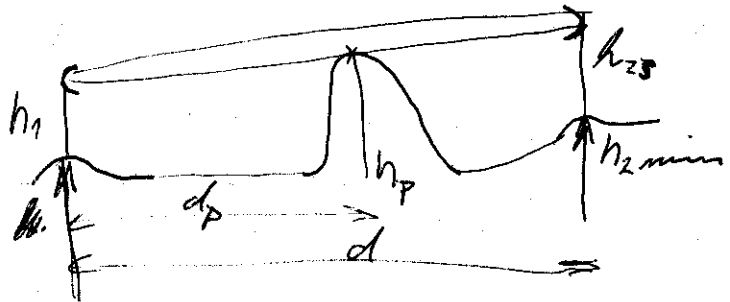
$$f = 10,5 \text{ GHz}$$

$$h_1 = 280 + 30 \text{ m}$$

$$h_{2\min} = 285 \text{ m}$$

$$d_p = 17 \text{ km}$$

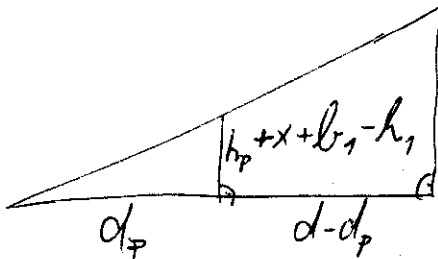
$$h_p = 290 \text{ m}$$



$$1) \quad b_1 = \sqrt{\frac{d_p(d-d_p)\lambda}{d}} = 14,8 \text{ m}$$

$$x = \frac{d_p(d-d_p)}{2 \cdot k \cdot R_2} = 14 \text{ m}$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 $\frac{4}{3}$ $6378 \cdot 10^3 \text{ m}$



$$\frac{h_2 - h_1}{d} = \frac{h_p + x + b_1 - h_1}{d_p}$$

$$h_{2s} = h_2 - h_{2\min} = \frac{h_p + x + b_1 - h_1}{d_p} \cdot d + h_1 - h_{2\min} = 41 \text{ m}$$

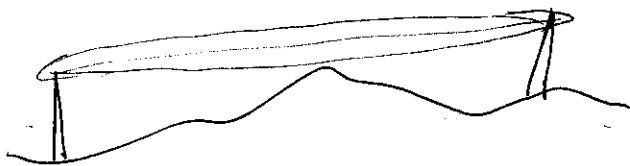
$$2) \quad k' = 0,7 \rightarrow x = 26,7 \text{ m}$$

$$3) \quad k_2' = 14 \text{ dB}$$

$$\frac{h_2 - h_1}{d} = \frac{h_p + x + 0,3 b_1 - h_1}{d_p}$$

$$h_{2s} = 45 \text{ m}$$

Základní výkonová bilance ve spoje



$$P_p = P_v + G_v + G_p - L_c - L_{ost}$$

- P_p -- přijatý výkon na výstupu přij. ant. [dBm]
 P_v -- výkon na výstupu vysílači ant. [dBm]
 G_p, G_v -- zisky v a p antén [dB]
 L_c -- celkové ztráty šířením [dB]
 L_{ost} -- ost. ztráty přenos. řetězce

Ztráty šířením

$$L_c = L_z + L_f$$

L_z -- základní ztráty šířením
(při lexuniovém stavu)

L_f -- časově proměnné ztráty způsobené úniky [dB]
(fading)

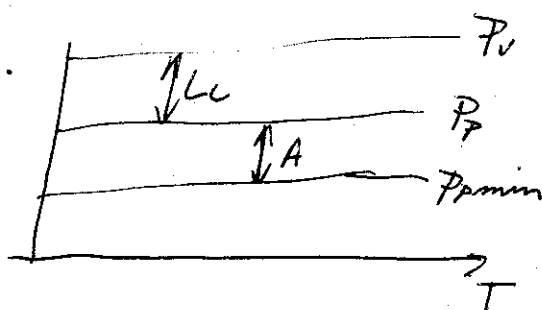
$$P_{pmin} < P_p < P_{pmax}$$

P_{pmin} .. min. prahová hodnota požadovaná
na vstupu přijímače pro danou
kvalitu (např. BER = 10^{-3})

P_{pmax} max přípustná hodnota

Rezerva na únik (pro danou kvalitu / BER)
(fade margin)

$$A = P_{p \text{ bez úniku}} - P_{pmin}$$



Štavy bez úniku

$$L_z = L_o + L_a + L_d$$

L_o .. ztráty volným prostorem,

L_a .. útlum atm. plyny

L_d .. útlum difrakcí na překážkách
(serien, zastavba) (vliv refrakce)

$$L_a = \gamma_{ad} \quad [\text{dB}]$$

specifický útlum v dB/km (podle ITU-R P.676)
smysl nad 10 GHz

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

Difrakce (knife edge) - aproximace

ITU-R P.526-7 pro $v > -0,7$

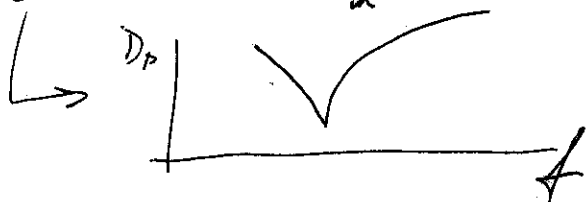
$$L = 6,9 + 20 \log(\dots)$$

Ohyb na válcové překážce

Útlum vegetace (ITU-R P.833-3)

Úniky

- Ploché (flat fading)
- Absorpční (lok. záření pod ploché)
- Selektivní (frequency selective fading)



Ploché úniky

- konst. na celém f. pásmu

- pomatě čas. změny

- nezávislý na poloze antény

příčiny - anomálie v průběhu indexu lomu s výškou

- absorpční úniky - útlum hydrometeorů

Časové procento úniků (dle ITU-R P.530-9)

$$P_w = \dots$$

pravděpodobnost úniků větších než daná rezerva

$$P = \frac{P_w}{100}$$

najde se v grafu

Absorpční úniky - útlum deštěm a hroupaní
* dlouhodobých měření

dešť proměnný v čase (velmi rychle) i v prostoru

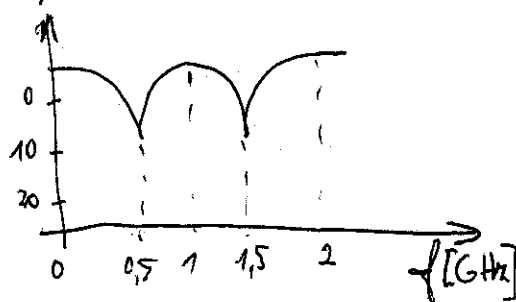
ITU-R model útlumu deštěm

(5)

Selektivní únik

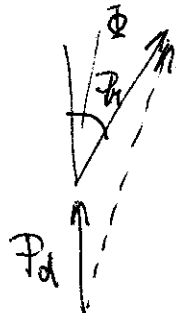
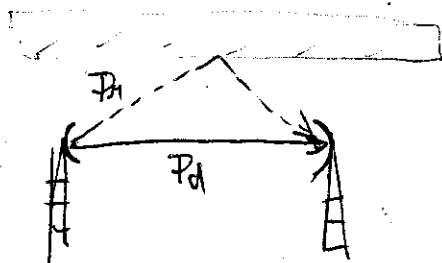
- pouze v úzkém frekv. pásmu
- může se rychle měnit v čase
- významný vliv umístění antény

Fade depth [dB]



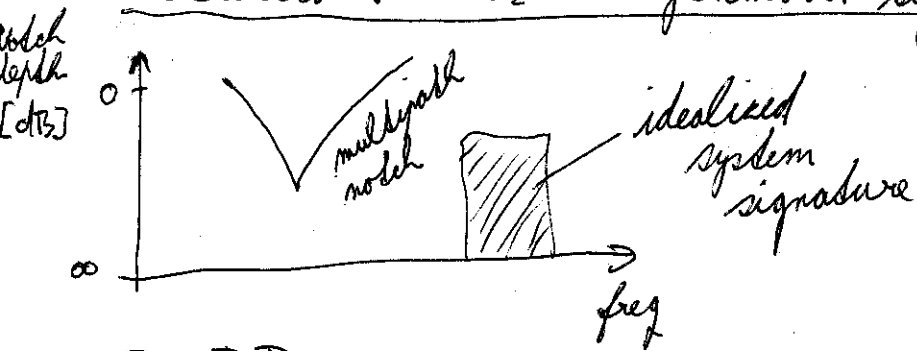
průčiny

- mnohosečné šíření (téměř vždy jen 2 směry)



$$R^2 = (P_d^2 + 2P_dP_h \cos \Phi + P_h^2)$$

Selektivní únik a systémová signatura



$P_s = P_a P_e$

pravděpodobnost
slabé sel.
úniku

pravděpodobnost
výhledu
notch depth
(únik s blízkou hloubkou)

pravděp., že únik v intervalu
syst. signatury

Degradace XPD vícecestným šířením

Poslání vícecestného šíření

- omezení odrazů od terénu
 - vhodná "volba" místa odrazu (ne vodní plochy...)
 - naklopení antén vzhůru
- zvýšení inklinace (sklonu spojnice antén) vliv refrakčních jevů
- změna světlostí profilu (kompromis s výkonovou bilancí),
především pro diverzní antény
- diverzita

Diverzita

- časová
- prostorová
- polarizační
- směrová

Kvalita a spolehlivost spoje

$$P_C = P_{ms} + P_S + P_{XP} + P_R$$

celková pravděp. úniku pro
danou rekonfiguraci a konfiguraci
spoje

P_{ms} - plochy únik

P_S - frekvenčně selektivní únik

P_{XP} - únik degradací XPD

P_R - absorpce

nebo: celkové časové procento překročení kvalitativních
limitů

$$p_c = p_{ms} + p_S + p_{XP} + p_R$$

Interference

- rušení signálem na stejném kmitočtu
- špatné plánování trasy (dráhová vlna)
- rušení s jiným pozemním zdrojem
- rušení s družicovým systémem
- XPD na stejné frekvenci
- rušení do sousedního kanálu

rušení přes hranice států - koordinace - Berlin Agreement

satelitní x pozemní služby
koordinací vzdálenost

Mobilní spoj

plnová délka v délkách cm

aspekty šíření pro pevné a mobilní systémy

- pevné optimální umístění antén
- směrové antény
- přímá viditelnost
- stabilní útlum
- vícecest. šíření
 - malé % času
 - 2 paprsky s malým směr. rozdílem
 - malá čas. zpoždění
 - prost. div. odstup 100-200 dB
- interference
 - plánování, koordinace

- proměnlivé umístění antén
- nesměrové ant.
- přím. vid. v malém % času
- velké kolísání útlumu o desítky dB
- vícecest. šíření
 - stále
 - více paprsků ze všech směrů
 - velké rozpětí čas. zpoždění
 - při prostorové diverz. stačí odstup $i < 1$
- interference
 - časté opak. kmitočtů

Šíření v poloprostoru

- Fresnelův zlom

...

Mobilní spoj

- pomalý únik
 - pozvolné změny střední hodnoty signálu
 - šíření, kaskádová
- rychlý únik
 - rychlé změny

Mob. spoj - výkonová rovnice

$$L_c(p, t) = L(p) + X(t)$$

! celkový útlum šíření pro mob. anténu v místě p a čas t

p... poloha mob. antény

$L(p)$ - střední hodnota útlumu daná pozicí p

$X(t)$ - časově proměnlivá náhodná složka útlumu
daná stat. rozložením úniků

(6)

Rozptyl dob ^{koordinací} ~~časů~~ - RMS delay spread

Modely šíření nad nerovným terénem

- exaktní determ. přístup - nereálné
- empirický přístup na základě statistického zprac.

Empirický model ITU-R 370 pro VHF a UHF

- referenční param
- hodnoty podle topograf. dat

Šíření vln v kádavbě

makro, mikro, pikobunka

Klasifikace modelů
- podle topograf. prostředí
- makro, mikro, pikobunka

$x = 1 - 30 \text{ km}$

BS anténa nad úrovní střeš
venkovské, předměstské, městské.

- mikrobunka

$x = 0,1 - 1 \text{ km}$

BS anténa pod (na) úrovní střeš

- pikobunka

$x = 0,01 - 0,1 \text{ km}$

město, v budově

BS anténa uvnitř budovy (pod úrov. střeš)

- podle charakteru
 - stochastické
 - empirické
 - deterministické
 - semideterministické / empirické

Modely šíření v městské makrobuňce
 šíření nad střechami a difrakce, odrazy od překážek
 poblíž mob. antén
 vhodně - empirický model (baráký pořad podobně)
 model "1/d"

$$L(d) = L_0(d_0) + 10 \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

dosadí se ka křátky
 volným prostorem

- referenční hodnota $L_0(d_0)$
 - z měření
 - orient. výpočet
- typické hodnoty exponentu n
 - volný prostor 2
 - městský PCS 2,5-4
 - při zastínění 3-5

Př makrobuňka, přijímací anténa zisk 0

$$d_0 = 1 \text{ km}, f = 900 \text{ MHz}$$

jako křátky volným prostorem

$$L_0(d_0) = 20 \log\left(\frac{4\pi \cdot 1000}{\lambda}\right) = 32,4 + 20 \log 900 + 20 \log 1 = 91,5 \text{ dB}$$

$$P_{pm} = -80 \text{ dBm} \text{ (požadovaná úroveň)}$$

$$-80 = 40 - 91,5 - 10 \cdot 4 \log \frac{R_{km}}{1 \text{ km}}$$

$$\text{ERP} = P_t G_v = 10 \text{ W} \approx 40 \text{ dBm}$$

$$n = 4$$

$$R_{km} = 10^{\frac{80 + 40 - 91,5}{40}} = 5,2 \text{ km}$$

$$\text{pro } n = 3 \Rightarrow R = 8,9 \text{ km}$$

území 50x50 km, kolik buněk - primitive

$$m=4 \quad N = \frac{50 \times 50}{\pi 5,2^2} = 30$$

$$m=3 \quad N=10$$

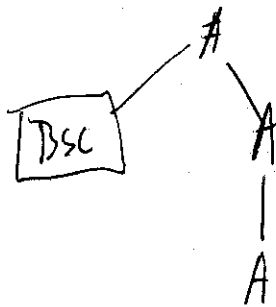
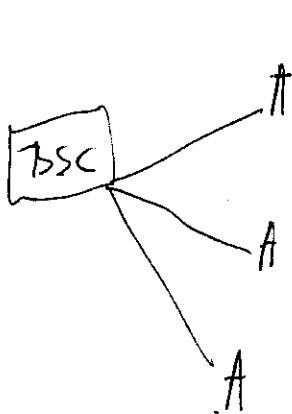
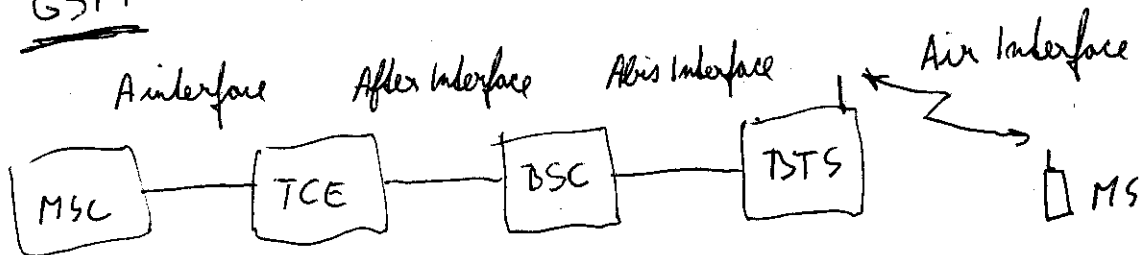
Lee model

Okumura-Hata model

Převod přijímače $P \leftrightarrow E$ (pro vodorov. vlnění)

7

GSM



Identifikace

- jednoznač na světě číslem CGI

230	01	25416	4311
MCC	MNC	LAC	CI
mobile			

(8)

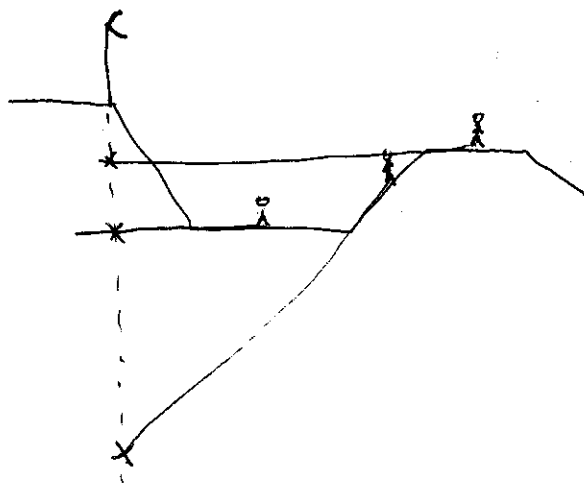
Lee point-to-point model

rovina + přelom nerovnost terénu

závislost HW (rozdíl oproti referenci)

$$P_P = P_{r0} - \gamma \log \frac{h}{h_0} + 20 \log \frac{h_2}{h_1} + L_{diff} + \kappa$$

ef. výšky - šířka h terénu v místě mob. anteny,
výška ~~h₀~~ podle "převod. ant."



Semi-determin. modely v makrobuňce

- Allsebrook & Parsons Model
správné výsledky

- Ikegami model
1x difr., 1x odraz

- Model mnohonás. difrakce

- mnohonás. d.

- 1x difr. na "posl." stěně

→ využívá COST 231 Walfish-Ikegami model

COST 231 ... Model Walford-Hegami

LOS: $L = 42,6 + 26 \log d + 20 \log f$ $d \geq 20 \text{ m}$

NLOS: $L = L_0 + L_{\text{med}} + L_{\text{rts}}$ $(L = L_0 \text{ pro } L_{\text{med}} + L_{\text{rts}} \geq 0)$

L_0 ... chr. volným prost.

L_{med} ... vícenásobnou difrakcí o střechy

L_{rts} ... chr. difrakcí posl. střecha - mob. anténa

ve své datě příj. PDF

Limity použitelnosti

hustá zastavba

rovinná zem

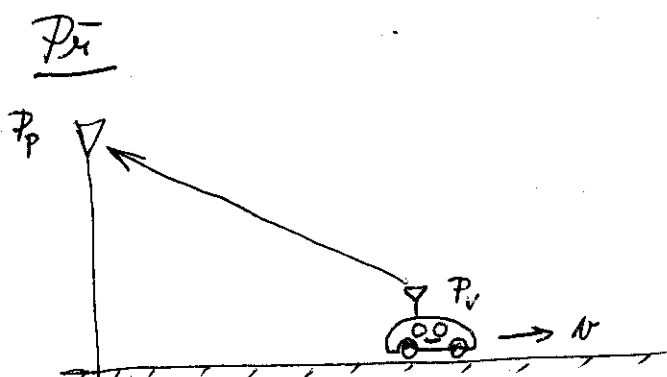
$f = 800 - 2000 \text{ MHz}$

$h_e = 4 - 50 \text{ m}$

$h_m = 1 - 3 \text{ m}$

$d = 0,02 - 5 \text{ km}$

$h_e < h_{\text{roof}}$... horší výsledky



$$P_r(d) = P_0(d_0) - 10 n \log \frac{d}{d_0}$$

$$P_0(d_0) = 0 \text{ dBm}$$

$$n = 2,9$$

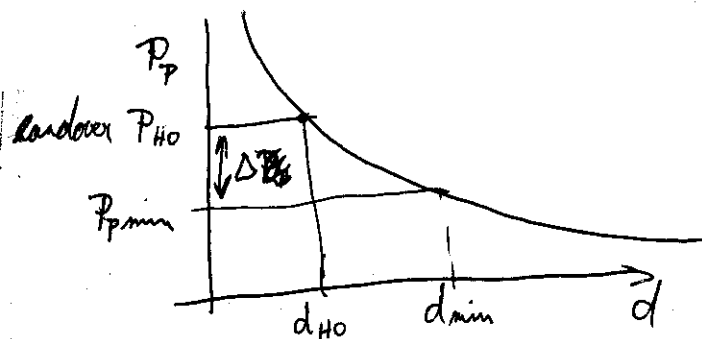
$$d_0 = 1 \text{ m}$$

$$\rightarrow P_r(d) = -29 \log d$$

$$P_{\text{min}} = -88 \text{ dBm}$$

$$v = 80 \text{ km/h}$$

$$f_{\text{h}} = 4,5 \text{ s} \rightarrow \text{brání handoveru}$$



při jaké úrovni se musí začít vyjednávat handover,
aby nedošlo k výpadku spojení? - jaká Δ ?

$$\frac{d_{\min} - d_{H0}}{d} = 4,5$$

$$P_{H0} = -29 \log d_{H0} \rightarrow d_{H0} = 10^{\frac{P_{H0}}{-29}}$$

$$P_{\min} = -29 \log d_{\min} \rightarrow d_{\min} = 10^{\frac{P_{\min}}{-29}} = 1083 \text{ m}$$

$$\frac{1083 - 10^{\frac{P_{H0}}{-29}}}{22,2} = 4,5 \Rightarrow P_{H0} = -86,8 \text{ dBm}$$

$$\Rightarrow \Delta = 1,2 \text{ dB}$$

Modely šíření v přehlednostech

- pohybujeme se před Fresnelovým klomem

obtížný popis prostředí

- konstrukce budov
- mobiliář, lidé
- dveře, okna
- okolní vegetace

- komplikované šíření

- odraz
- průchod
- ohyb
- rozptyl

- One slope model (ISM)

$$L(d) = L_1 + 10n \log(d)$$

L_1 - útlum v dB

L_1 - ref útlum, vzd. 1m

d - vzdál

n - šířkový koef. - důležité správně zvolit podle prostředí

- lokové první přiblížení, ignoruje strukturu prostředí

ITU-R Model (R. 1238)

$$L(d) = 20 \log(f) - 28 + 10 \log(d) + L_f(k_f)$$

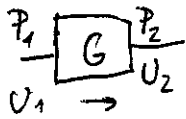
L_f - útlum pro průchod podlažím

k_f - počet podlaží mezi anténami

opakování decibelů

$$10 \log \frac{G}{L}$$

vždy bezrozměrné



$$\frac{P_2}{P_1}$$

$$\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2$$

relativně k nějaké úrovni



$$P_{x1} = 10 \log \frac{P_2}{P_x}$$

$$P_{x2} = 10 \log \frac{P_3}{P_x}$$

$P_x = 1 \text{ mW}$.. udáno hodnotu referenční

$$P_{dBm} = 10 \log \frac{P_w}{1 \text{ mW}}$$

$$P_{dBW} = 10 \log \frac{P_w}{1 \text{ W}}$$

$$10 \times \dots + 10 \text{ dB}$$

$$100 \times \dots + 20 \text{ dB}$$

$$10^5 \times \dots + 50 \text{ dB}$$

preos. rov.

$$\frac{P_P}{P_V} = G_1 G_2 - \frac{1}{L}$$

$$\frac{P_P}{10 \text{ W}} = 1000 \cdot 10000 \cdot 10^{-9}$$

$$P_P = 0,1 \text{ W}$$

$$P_P - P_V = G_1 + G_2 - L$$

dBm dBm dB dB dB

$$P_P - 40 \text{ dBm} = 30 + 40 - 90$$

$$P_P = 20 \text{ dBm}$$

(9)

Multi Wall Model (MWM)

$$L(d) = L_0(d) + L_c + \sum_i k_{wi} L_{wi} + k_f \left(\frac{k_f + 2}{f + 1} - b \right) L_f$$

$L_0(d)$... šířky vlny v prost. v d

L_c ... aditivní konst

k_{wi} ... počet stěn typu i

L_{wi} ... útlum v dB pro stěnu typu i

k_f ... počet podlaží

L_f ... útlum pro průchod podlažím

b - konst. nelinearity + útlum průchodem skrz více podlaží

Optické modely

- metoda geometrické optiky ($\lambda \ll$ rozměry objektů)
- paprsek - přímé šíření, odraz, difrakce, průchod, rozptyl
- výhody
 - vytkne specifika geom. rozšířích situací
 - komplexní popis mnohosestného šíření
 - (dobrá souhlas s skuteností)
- nevýhody
 - potřeba přesného popisu situace, na jeho kvalitě závisí výsledky
 - výpočetní náročnost

Ray tracing

přímá spojnice a spojnice s odrazy,
omezený počet odrazů

Ray launching

vystřelování paprsků

důležitá vhodná volba kroku

rychlejší pro výpočet celkového pokrytí

Opt. modely

čítají se intenzity pole

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$

$$E_i = E_0 F(\vartheta, \varphi) \overbrace{e^{-\gamma d_i}}^{\text{změna fáze}} \prod_{m=1}^M R_m \prod_{n=1}^N D_n \prod_{q=1}^Q P_q$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{konst šíření}$$

Semi-deterministické modely

Dominant Path Model

přes každou přímku je jen jedna cesta,
popis sousedících místností
na každé této cestě křivka MWM

Penetrace signálu do budov

- výpočet pro plášť budovy jako exteriér, fiktivní vysílače na stěně a model pro pikob.
- orientační empirický přístup (900 MHz)
 - úroveň před budovou
 - výstavy míst 2 dB/patro
 - útlum stěny, cca 13 dB) orientačně
- COST 231 LOS Model

Mikrobunty

Fresnelio slon

$$h_1 = 6 \text{ m}, h_2 = 1,5 \text{ m}, f = 1800 \text{ MHz}$$

$$d_0 = \frac{4 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1800}{300} = 216 \text{ m}$$

→ slon vníká buntky

Optické modely

jako v pikobuně

lze zjednodušit na horiz. rovinu a k paprskům přidat odrazy od země

složí se na vstup. data

Empirické modely

Dual Slope Model

$$L(d) = L_1 + 10 m_1 \log d$$

$$d \leq d_0$$

před f. zlomen

$$L(d) = L_1 + 10 m_1 \log d_0 + 10 m_2 \log \frac{d}{d_0}$$

$$d > d_0$$

m_1 spád křivky pro $d < d_0$, typ 2

m_2 — " — $d > d_0$ typ 4

d_0 bod zlomu, typ. Fresn. zlom

Rekurzivní (Berginův) model

hledat nejkratší lomenou čáru
rekurzivně počítat fikční délku čáry
podle velikosti změny směru
na každé čáře empirický model

$$d_j = k_j r_{j-1} + d_{j-1}$$

$$k_j = k_{j-1} + d_{j-1} \left(\frac{\theta_{j-1}}{90} \right)^v$$

d_j fikč. délka paprsku do j -tého uzlu

r_j délka seg. mezi uzly j a $(j+1)$ v [m]

θ_j úhel odrocení pap. v j -tém u. ve stupních

q emp. param, dop. $q = 0,5$

v — " — $v = 1,5$

př. hodnoty

$$k_0 = 1, d_0 = 0$$

Uděláš...

(10)

Bunková (celulární) síť

odstup sig. od další buňky

P_{π}

$$D = 30 \text{ km}$$

$$P_{vmin} = 30 \text{ dBm}$$

$$P_{vmax} = 33 \text{ dBm}$$

$$f = 1800 \text{ MHz}$$

$$P_{pmin} = -95 \text{ dBm}$$

$$CIR_{min} = 18 \text{ dB}$$

$$L(d) = L_0(1 \text{ km}) + 10 n \log d \text{ km}$$

$$n_1 = 3$$

$$n_2 = 4$$

$$1) \quad P_{pmin} = P_{vmin} - L_0 - 10 \log R_1$$

$$R_1 = 10^{\frac{P_{vmin} - L_0 - P_{pmin}}{10 n}}$$

$$L_0(1 \text{ km}) = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi \cdot 1000 \cdot 1800}{300} \right)^2 \right] =$$

$$= 97,5 \text{ dB}$$

$$R_1 = 10^{\frac{30 - 97,5 + 95}{10 n}}$$

$$R_1|_{n=3} = 8,2 \text{ km}$$

$$R_2|_{n=4} = 4,9 \text{ km}$$

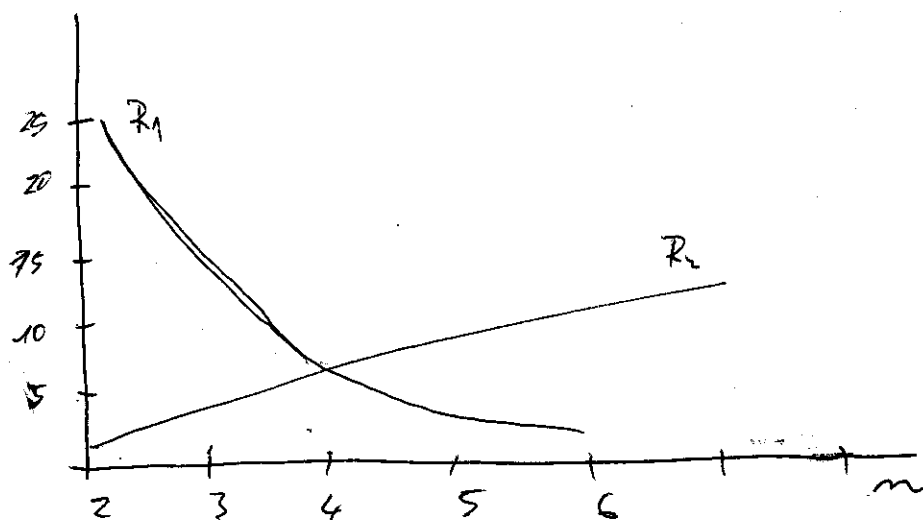
$$2) \quad CIR_{min} = P_{P1} - P_{P2} = (P_{min} - L_0 - 10n \log R_2) - (P_{min} - L_0 - 10n \log [D - R_2])$$

$$10n \log \frac{D - R_2}{R_2} = CIR_{min} - P_{vmin} + P_{max}$$

$$R_2|_{n=3} = 5,0 \text{ km}$$

$$R_2|_{n=4} = 6,9 \text{ km}$$

$$R_2 = \frac{D}{10^{\frac{CIR_{min} - P_{vmin} + P_{max}}{10n}} + 1}$$



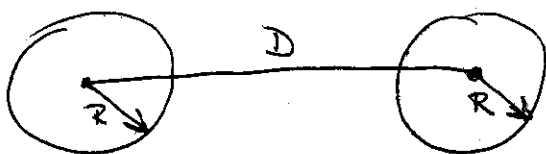
svazek buněk (cell cluster)

Hexagonální buněková síť

$$N = i^2 + ij + j^2$$

N ... počet buněk svazku

i, j ... nekáv. celá čísla



$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

D ... vzdál. buněk o stejné frekvenci

R ... poloměr buňky

Rušení na stejném kmitočtu (CCI) - C/I

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{N + \sum_{k=1}^K I_k} = \frac{C}{\sum_{k=1}^K I_k}$$

nejaký rušič,
předáváme

— součet rušení od všech rušiček

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-m}}{\sum_{k=1}^K D_k^{-m}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^K \left(\frac{D_k}{R}\right)^{-m}}$$

uvážíme jen rušiče v 1. vrstvě

$$D_k = D$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{K} \left(\frac{D}{R}\right)^m \approx 10 \log \left[\frac{1}{K} \left(\frac{D}{R}\right)^m \right] \quad \text{na dB}$$

Sklopení antén (Downhills)

pro mech. sklopení v hlavním směru
minimum, rozšíří se svazek

$$N = 4 \times 3$$

Volba frekvencního plánu

$$\frac{C}{I} = 10 \log \left[\frac{1}{K} \left(\frac{D}{R} \right)^m \right]$$

$$\frac{D}{R} = \sqrt[3]{N} = \left[K 10^{\frac{1}{10} \left(\frac{C}{I} \right)} \right]^{\frac{1}{m}}$$

$$N = \frac{1}{3} \left[K 10^{\frac{1}{10} \left(\frac{C}{I} \right)} \right]^{\frac{2}{m}}$$

$$\underline{P_{11}} \quad K=6 \quad m=4 \quad \frac{C}{I} = 18 \text{ dB}$$

$$N = \frac{1}{3} \sqrt[3]{6 \cdot 10^{\frac{18}{10}}} = 6,5 \Rightarrow 7$$

Multimediální rádiové systémy

11
MWS

- 40,5 - 43,5 GHz
- "poslední míle"
- bunčová struktura
- pairs to multipoints

Průřez v sítavbě

- přímá viditelnost
- digitální model terénu
v náhodně generovaná sítavba
- statistický model sítavby (ITU-R P.1410)
- oliv vegetace



← olivní orientace sítě útlum?
a co její délka?

- útlum atmosférickými plyny
- útlum mlhou
vyjádřeno statisticky
- oliv deště

modely dešťový factor

- cylindrický, Gaussovský, exponenciální,
Assis-Einflus

Důležitá

omezení - úzkobandové antény vysoké směrově

Účinná v megabitu

satelitní mobility