

Bezvadu sensoru tīkli

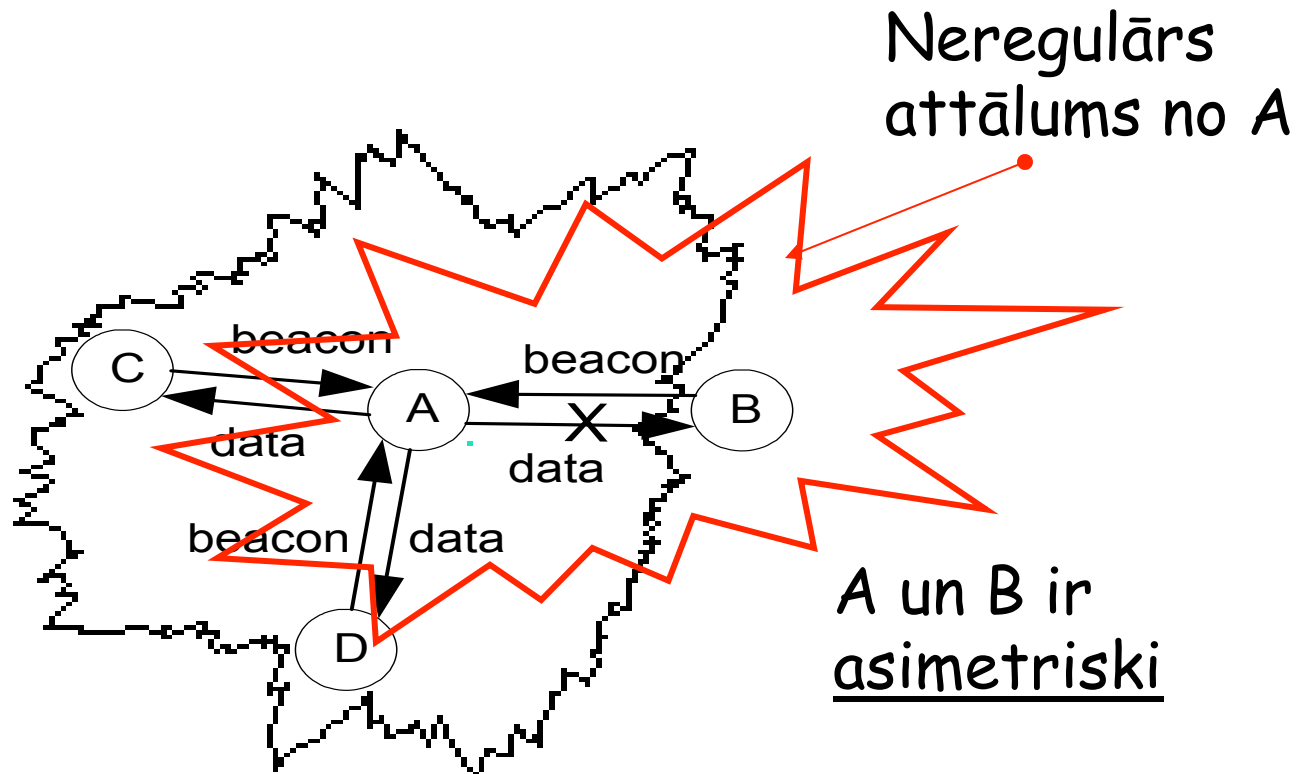
Bezvadu sakaru realitāte

Leo Seļāvo
Latvijas Universitāte

Motivācija

- Būtiskas pazīmes, kas norāda radio pārraides neregularitātes fiziskā vidē
 - Teorētiski norādījumi
 - Praktiski (empīriski novērojumi)
- Bet daudz risinājumu pieņem, ka radio raidījuma attālums pielīdzināms riņķa līnijai
- Tāpēc nepieciešami:
 - Simulācijas rīki, kas ņem vērā radio realitāti
 - Labāki protokoli, lai ņemtu vērā raidījuma neregularitāti
 - Ir izstrādāti teorētiski protokoli kas nestrāda praksē kļūdaino pieņēmumu dēļ

Piemērs



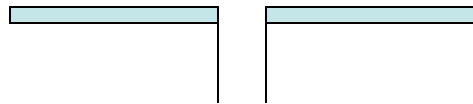
$AB = AC = AD$ (vienāda distance).
Radio pārklājums var mainīties laikā!

Pārskats

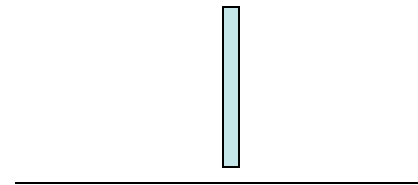
- Radio enerģijas modelis, kas ņem vērā parklājuma neregularitāti un ko var lietot simulatori
- Neregularitātes ietekme uz:
 - MAC līmeni
 - Maršrutizācijas līmeni
 - Citiem protokoliem (lokalizācija, topoloģijas kontrole)
- Risinājumi, kas ņem vērā neregularitāti
 - Netieši
 - Tieši

Antenu tipi

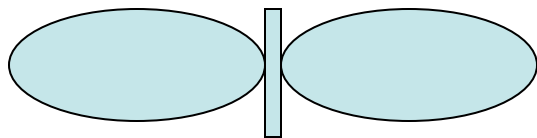
- A: Pus-viļņa dipols (visefektīvākā pārraide)
- B: Ceturdaļ-viļņa vertikālā antena



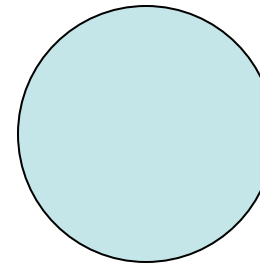
A:



B:



Izstarošanas lauks



Izstarošanas lauks

Perfekta
izotropiska antena
– visos virzienos
darbojas vienādi

Ierobežojumi bez šķēršļiem

- *Line of sight* – raidījums bez fiziskiem šķēršļiem tā ceļā
- Vājinājums (*attenuation*)
 - Signāla stiprums samazinās, palielinoties attālumam
 - Vājinājums ir lielāks augstākās frekvencēs
 - Signāla stiprumu jāvar izmērīt ar elektronisku iekārtu, un tai jābūt virs trokšņu līmeņa
- Brīvās telpas zudumi (*free space loss*)
 - Attiecība:
 - Raidītā signāla enerģija pret
 - Enerģiju ko saņem uztvērējs

Ierobežojumi bez šķēršļiem

- Troksnis
 - Termālais
 - Interference
 - Impulss (piem. zibens)
- Atmosfēras absorbcija
 - Tvaiks un skābeklis ietekmē signāla vājinājumu

Ierobežojumi

- Daudz – ceļu (*multipath*)
 - Refleksija – signāls, kas atstarojas no objektiem nonāk galamērķī vēlāk nekā oriģinālais signāls, kas ceļo pa taisni
 - Difrakcija – notiek pie malām un izskatās pēc jauna signāla avota (signāls var tikt saņemts pat tad, ja nav brīva ceļa pa taisni no raidītāja uz uztvērēju)
 - Izkliede – ja šķēršļa izmēri ir samērojami ar viļņa garumu

Kopsavilkums: neregulāra pārklājuma cēloņi

■ Iekārtas

- ❑ Antenas tips (virziena darbības, vienmērīgas darbības)
- ❑ Raidītā enerģija (nelineāra)
- ❑ Antenas pastiprinājums
- ❑ Uztvērēja jūtība (iekārtas)

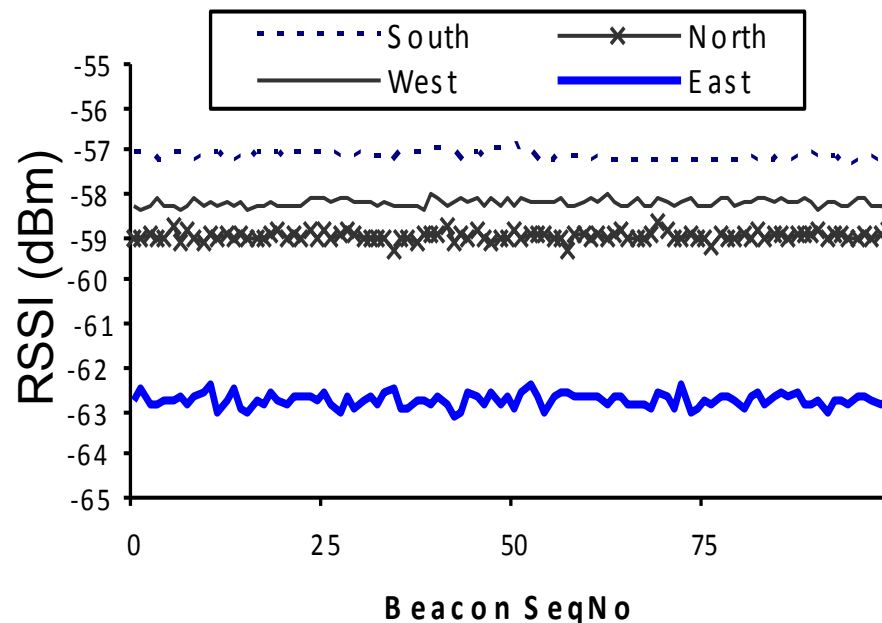
■ Vide

- ❑ Vides tips (gaiss, ūdens)
- ❑ Fona troksnis
- ❑ Temperatūra, mitrums
- ❑ Šķēršļi
- ❑ Lietus

■ Bet kā tas attiecas uz BST iekārtām?

Reāli mērījumi – radio signāls

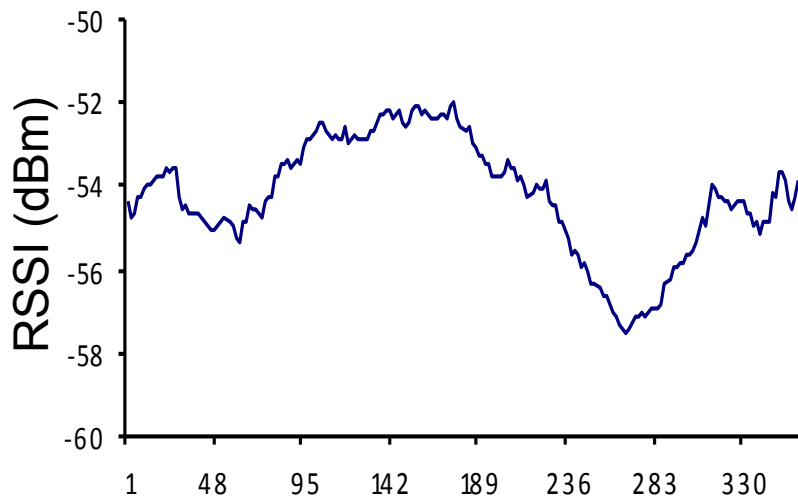
- **Ne-izotropiska ceļa zudumi:** Radio signālam no raidītāja ir dažādi zudumi atkarībā no virziena.



Signāla stiprums atkarībā no laika četros virzienos

(RSSI = *Received Signal Strength Indicator*)

Ne-izotropiska ceļa zudumi



Virziens grādos (3 metri)



Virziens grādos (6 metri)

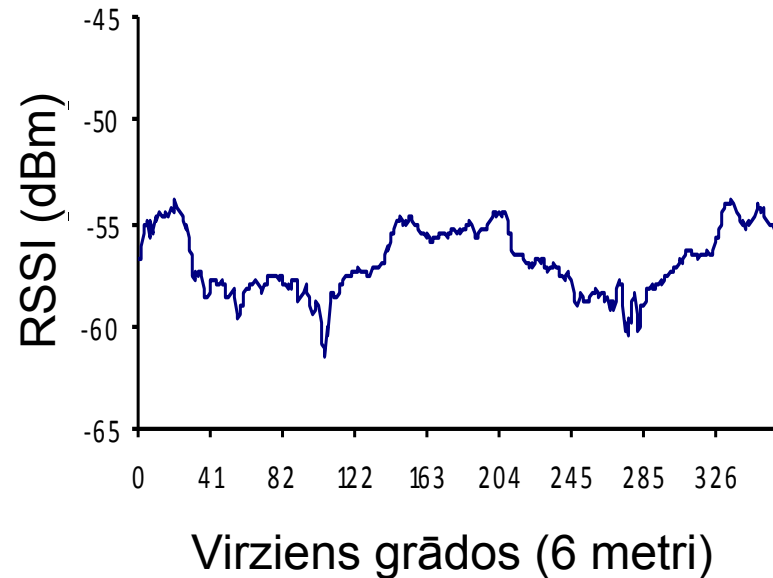
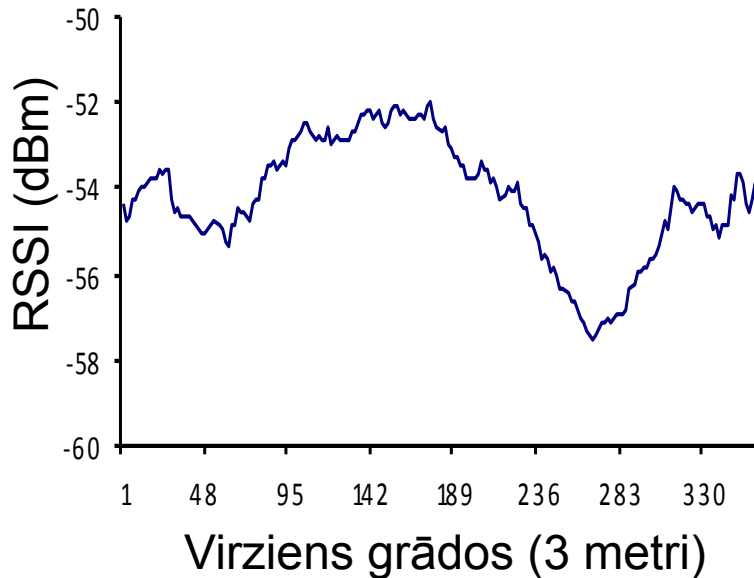
Signāla stiprums dažādos virzienos

■ Iemesli:

- Refleksija, difrakcija un izkliede vidē
- Aparatūras kalibrācija (ne-izotropisks antenas pastiprinājums)

Radio signāla īpašības

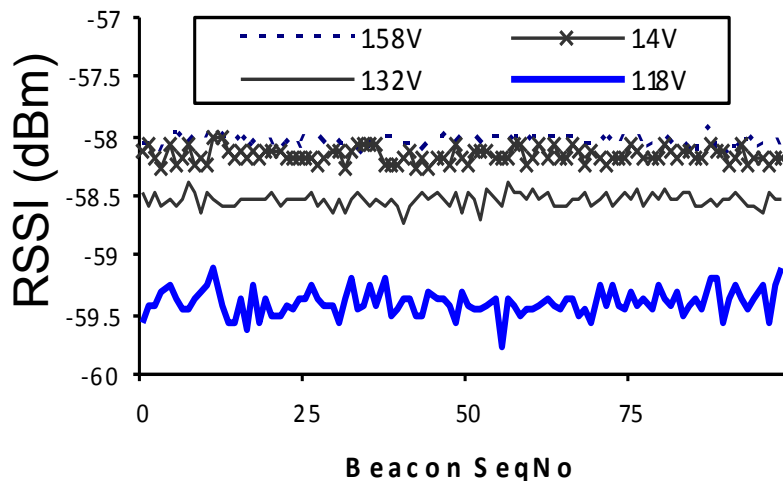
- **Nepārtrauktas izmaiņas:** Signāla ceļa zudumi nepārtraukti mainās dažādos virzienos no raidītāja.



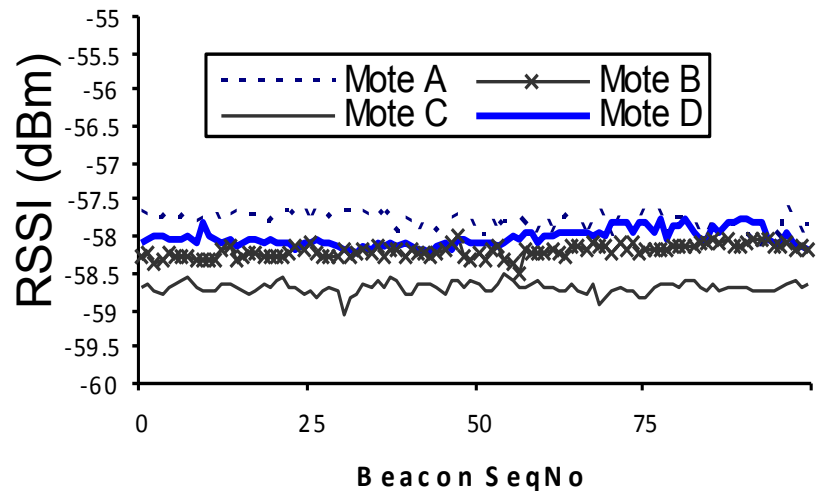
Signāla stiprums dažādos virzienos

Radio signāla īpašības

- **Heterogenitate:** Dažādiem mezgliem ir atšķirīgi sūtīšanas pārklājumi



(a) Viens modulis ar dažādu baterijas stāvokli



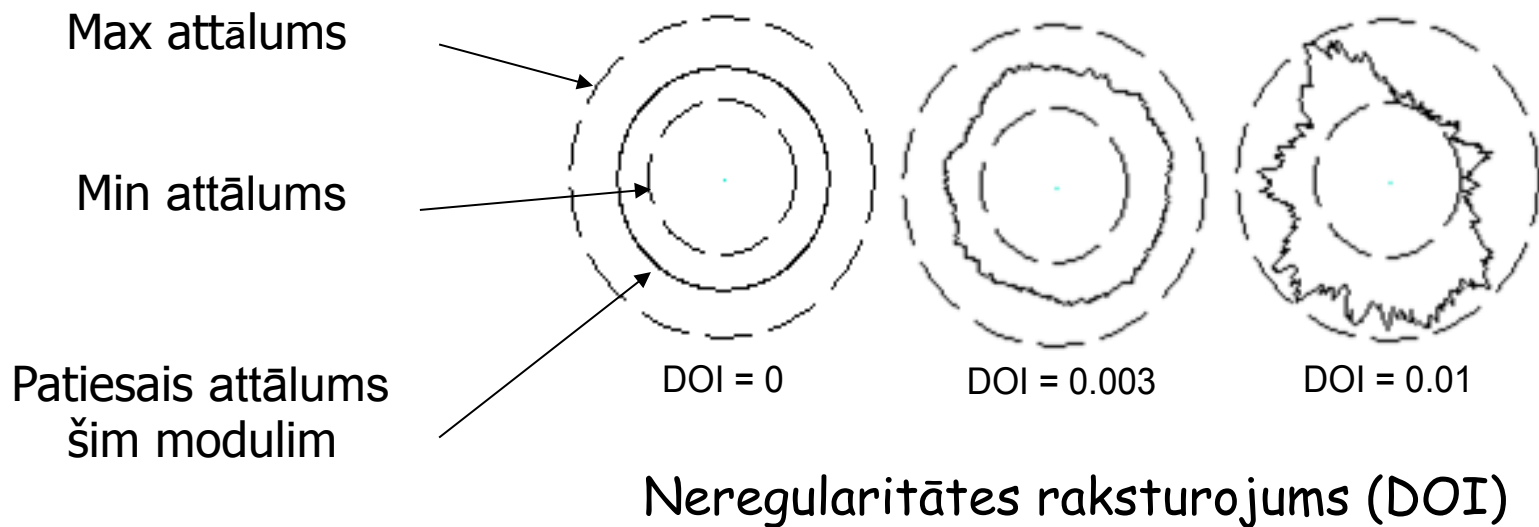
(b) Dažādi moduļi ar vienādu baterijas tāvokli

- **Iemesli**

- **Atšķirīga aparatūras kalibrācija un elektronikas komponentes**

RIM – Radio neregularitātes modelis

- Neregularitātes raksturojums - *Degree of Irregularity (DOI)*:
 - Definīcija: maksimālā uztvertā signāla stipruma procentuālā vērtības variēšana uz raidījuma leņķa vienības izmaiņu.
 - Ņem vērā ne-izotropiskus ceļa zaudējumus



RIM - VSP

- Raidītāja jaudas maiņa - *Variance of Sending Power (VSP)*:
 - **Definīcija:** maksimālās signāla raidītās jaudas procentuālās izmaiņas starp dažādām iekārtām.
 - **Ņem vērā** heterogēnu sūtījuma jaudu

RIM – formula

Signal receiving power = signal sending power - path loss + fading



Signal receiving power = signal sending power – DOI adjusted path loss + fading

DOI adjusted path loss = path loss* K_D



Signal receiving power = VSP adjusted signal sending power – DOI adjusted path loss + fading

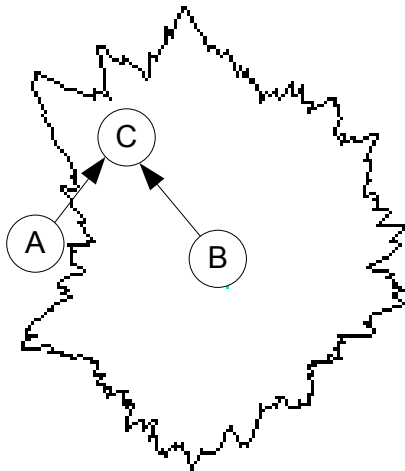
VSP adjusted signal sending power =

signal sending power * (1 ± RandomNum * VSP)

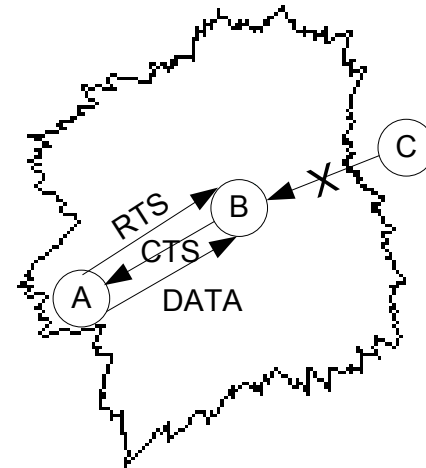
Where RandomNum ∈ Normal Distribution

Ietekme – MAC līmenī

- Ietekme uz:
 - *Carrier Sense* metodi
 - *Handshake* metodi
 - Pielietota CSMA, MACA, MACAW, 802.11 DCF



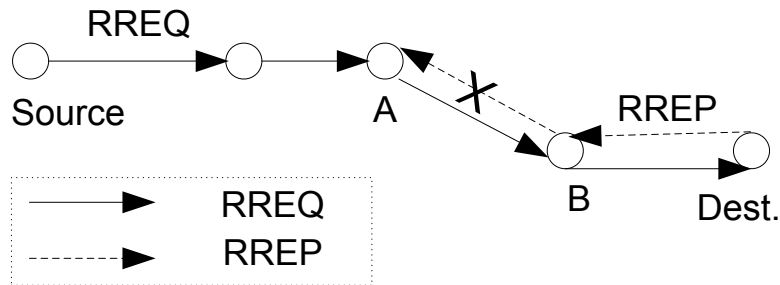
(a) *Carrier Sense* metode



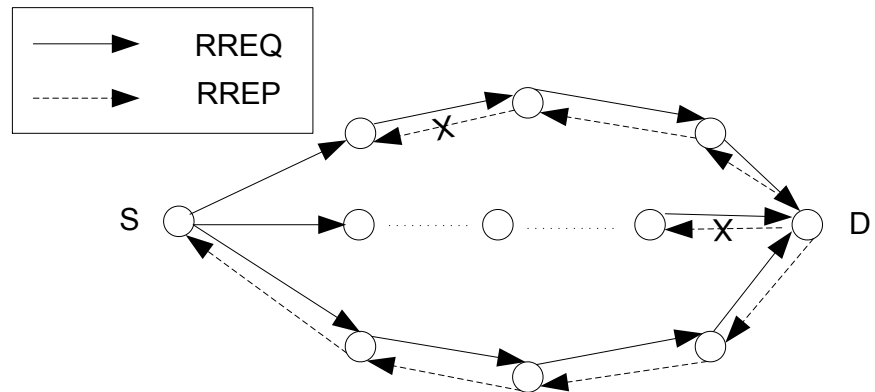
(b) *Handshake* metode

Ietekme - Maršrutizācija

- Ietekme uz:
 - *Path-Reversal* metodi
 - *Multi-Round* metodi
 - Pielietota AODV, DSR, LAR



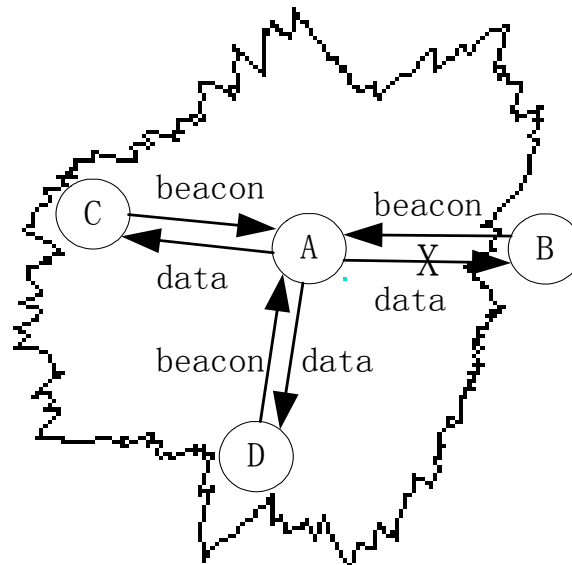
Ietekme uz *Path-Reversal* metode



Maršrutu atrašana ar *Multi-Round* metodi

Ietekme - Maršrutizācija

- Ietekme uz:
 - *Neighbor-Discovery* metodi
 - Pielietota GF, GPSR, SPEED



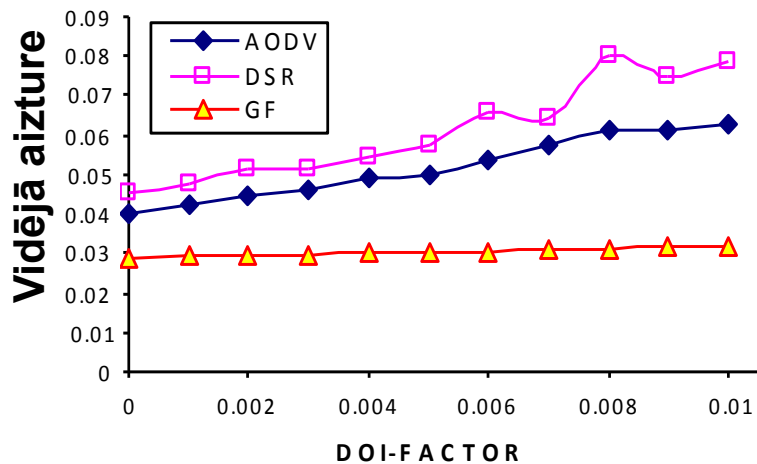
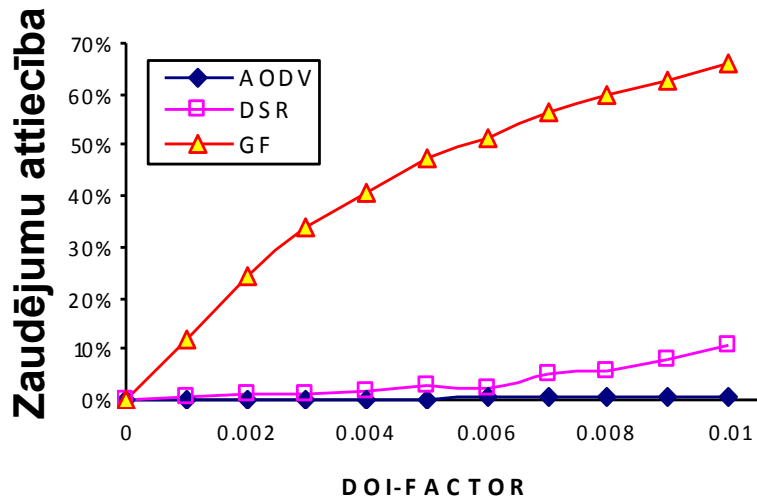
Ietekme uz *Neighbor Discovery* metodi

Simulācijas Testi

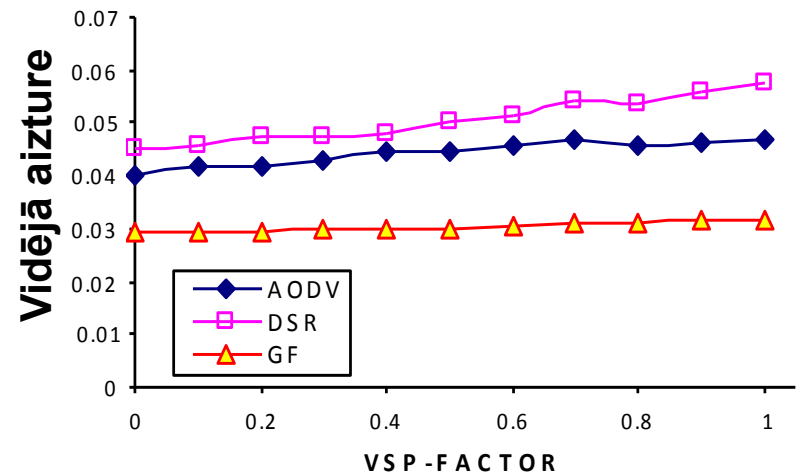
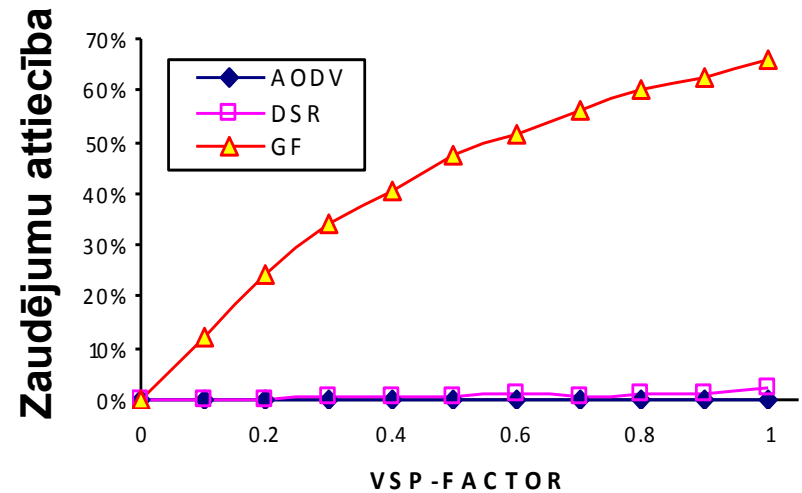
Components	Setting
Simulator	GloMoSim
Terrain	(150m,150m)
Node Number	100
Node Placement	Uniform
Payload Size	32 Bytes
Application	6 randomly chosen periodic multi-hop CBR streams
Routing Protocol	AODV, DSR, GF
MAC Protocol	CSMA, 802.11 (DCF)
Radio Model	RIM
Radio Bandwidth	200Kb/s
Runs	140
Confidence Intervals	The 95% confidence intervals are within 0~25% of the mean

Mēram ietekmi

Palielinām DOI

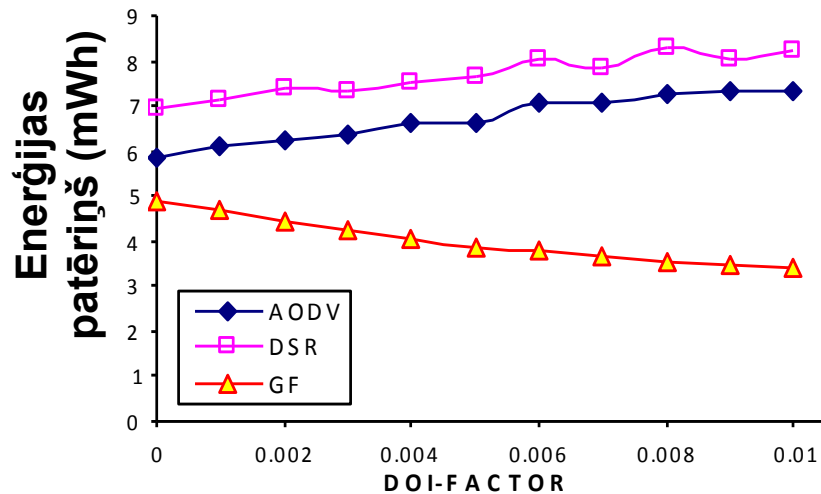
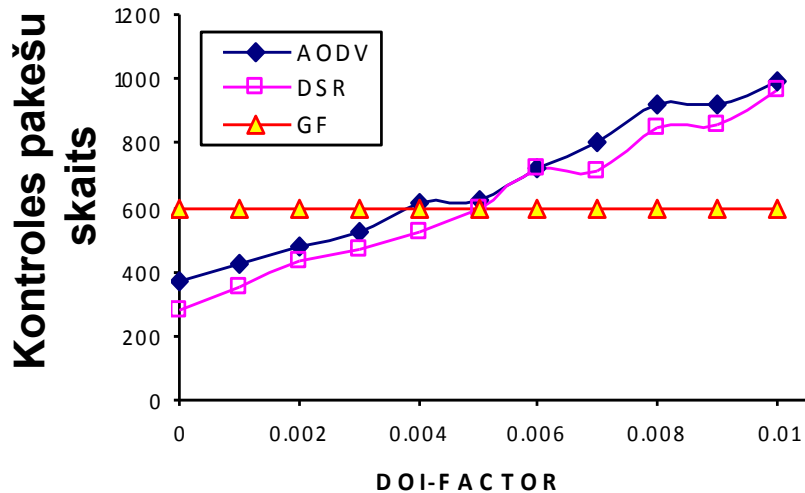


Palielinām VSP

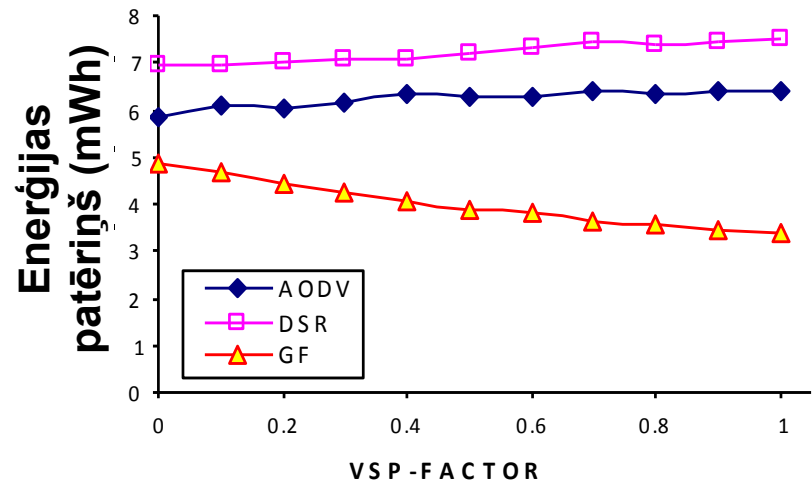
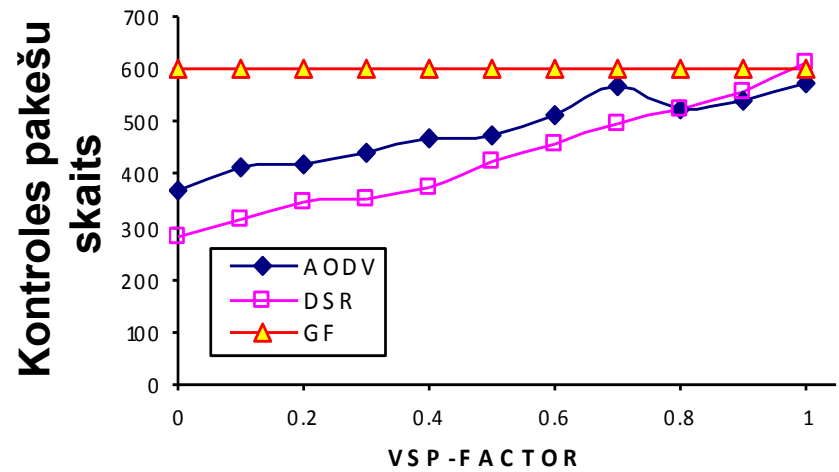


Mēram ietekmi

Palielinām DOI



Palielinām VSP

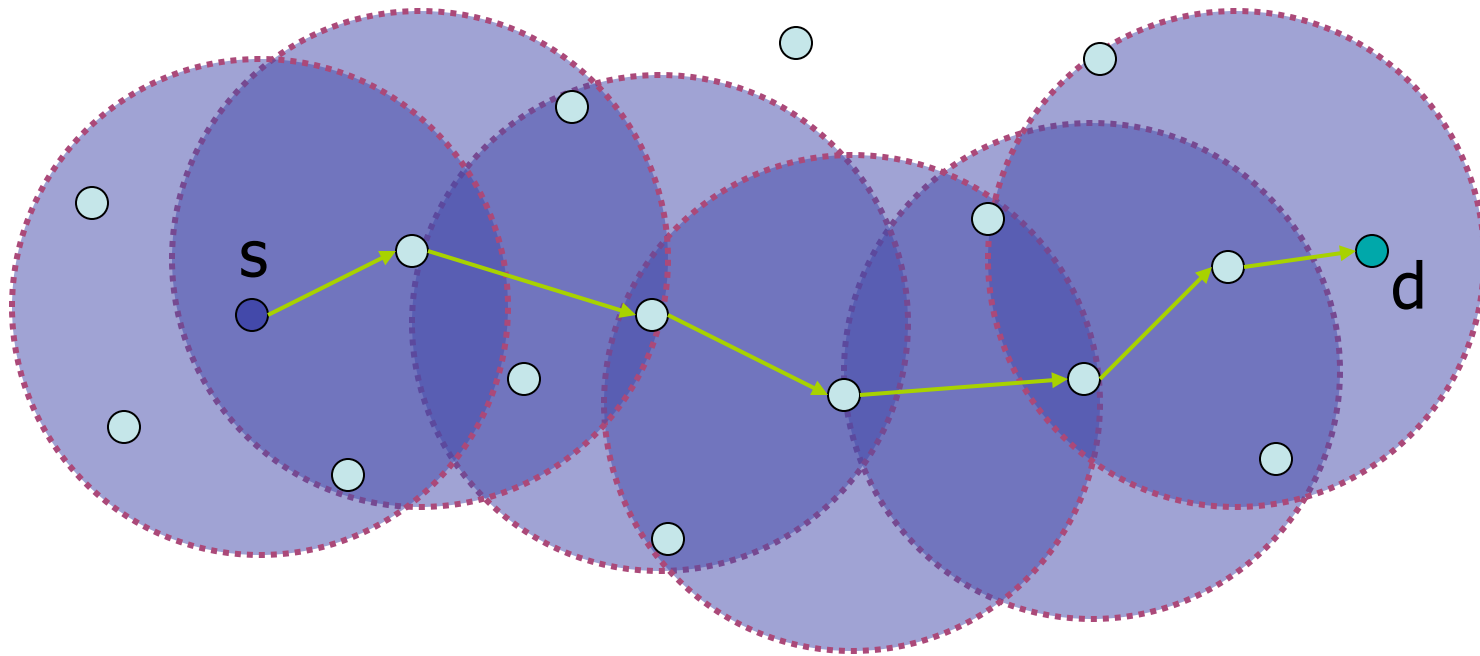


Ietekme - kopsavilkums

- Radio neregularitātei ir lielāka ietekme uz maršrutizācijas līmeni nekā MAC līmeni.
- Maršrutizācijas protokoli līdzīgi AODV un DSR, kas lieto *multi-round discovery* metodi, var tikt galā ar radio neregularitāti, bet ar lielu samaksu.
- Maršrutizācijas protokoli līdzīgi ģeogrāfiskajai virzībai (*geographic forwarding*), kas balstās uz kaimiņu atklāšanas metodi, ir spēcīgi ietekmēti ar radio neregularitāti.

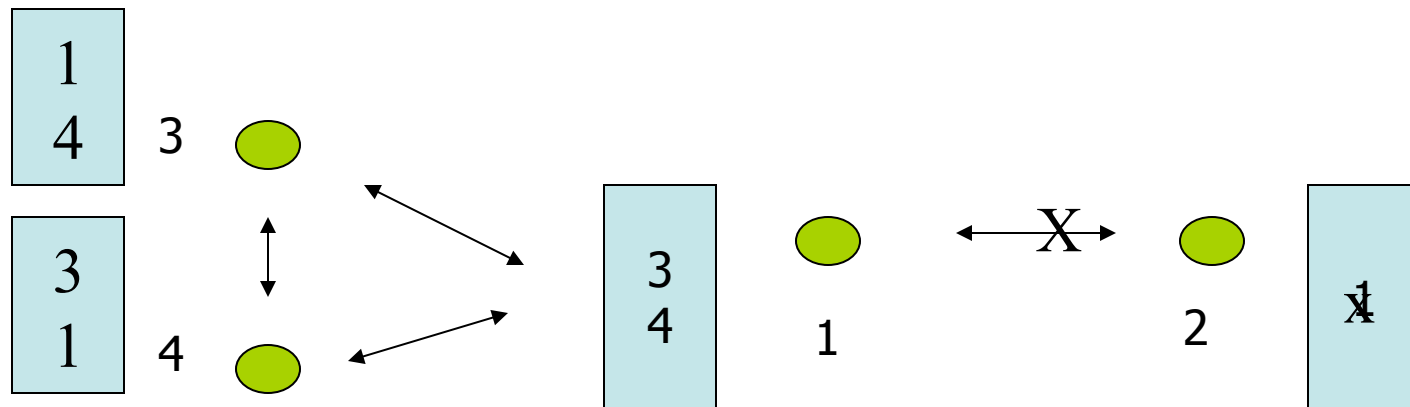
Geographic Forwarding

- GF vienmēr izvēlas mezglu kurš ir tuvāks mērķim.



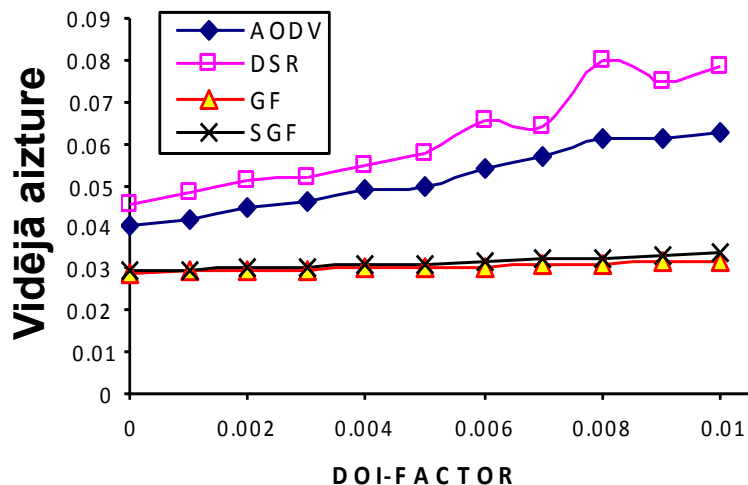
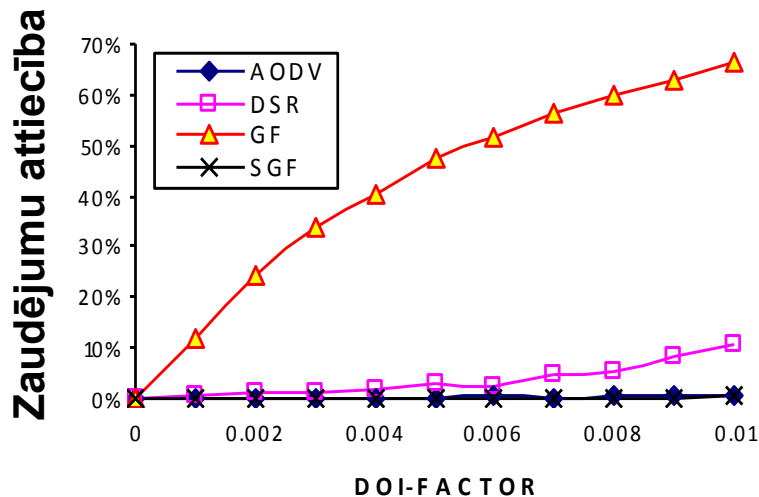
Risinājums: simetriskais GF (SGF)

- Noskaidrojam kaimiņus
- Apmaināmies ar kaimiņu tabulām lai atklātu asimetriju
- Izmetam asimetriskās saites no kaimiņu tabulām

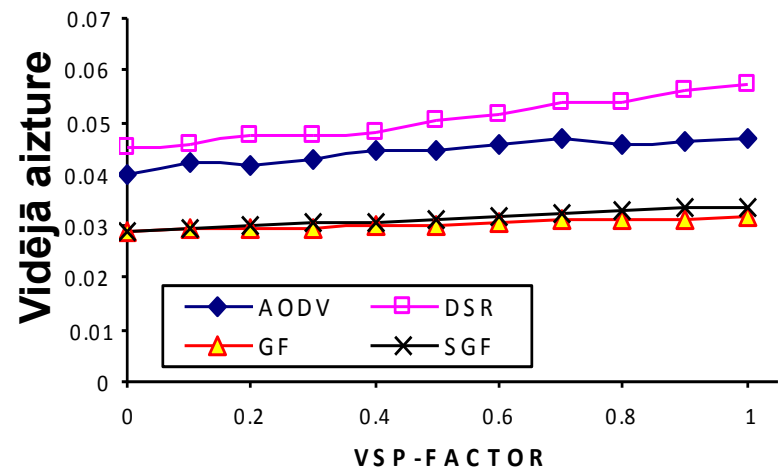
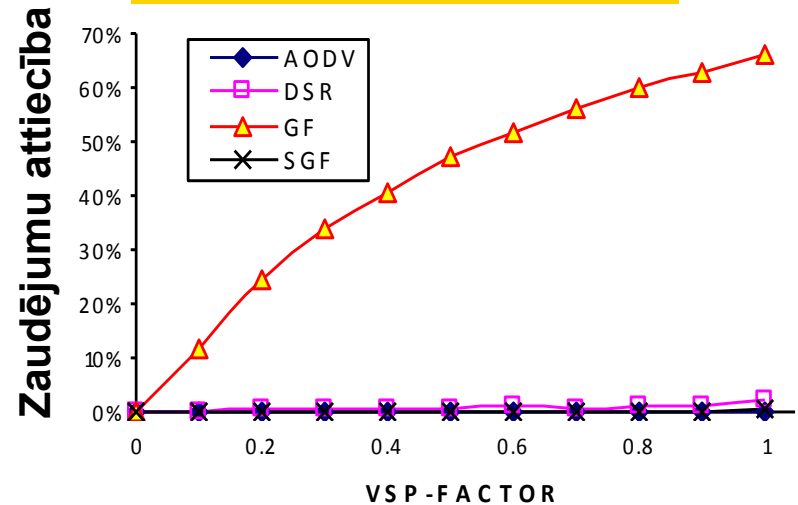


Symmetric Geographic Forwarding (SGF)

Palielinām DOI

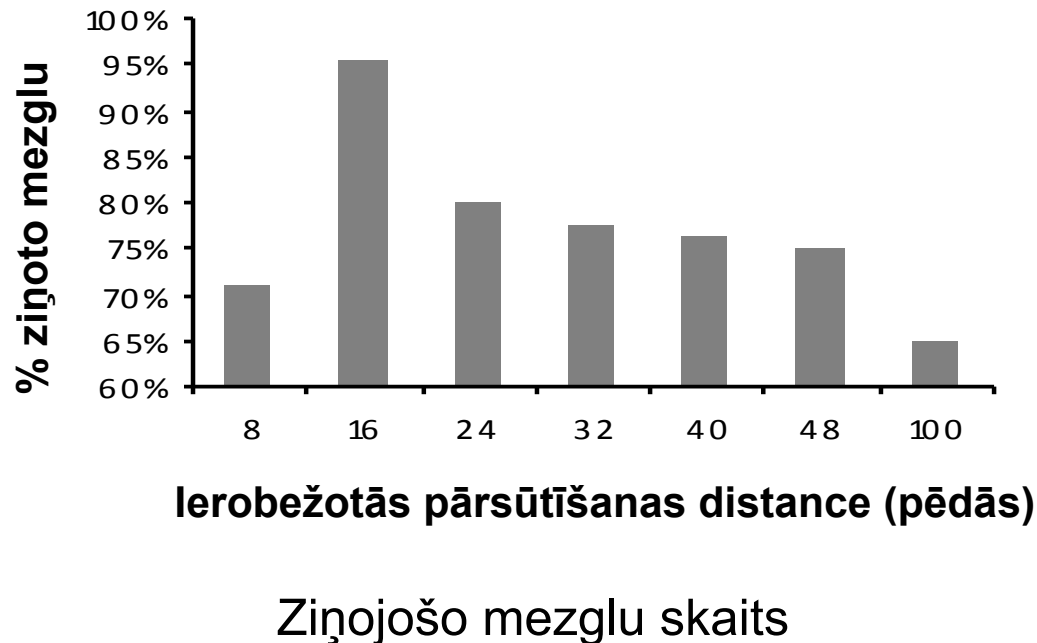


Palielinām VSP



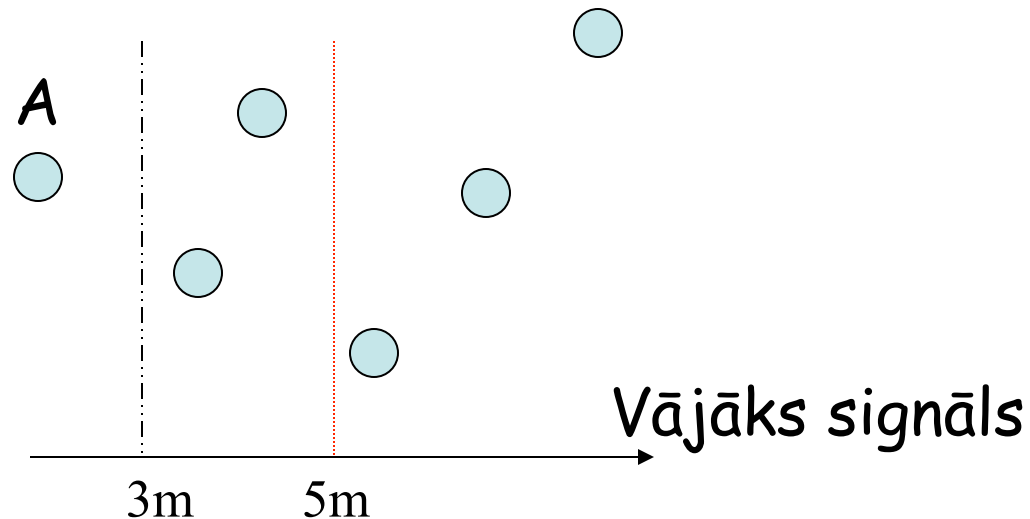
Ierobežotā distances virzība (BDF)

- *Bounded Distance Forwarding* ierobežo distanci kurā mezgls drīkst virzīt tālāk ziņojumu vienā lecienuā
- Realizēta novērošanas un trasēšanas sistēmā ar 70 MICA2 sensoru mezgliem



Bounded Distance Forwarding

- 3 metri – nepietiek mezglu, lai varētu pārklāt visu tīklu ar topoloģiju
- 5 metri – labākais kompromiss
- 8 metri un vairāk – pārāk daudz nesimetrisku saišu

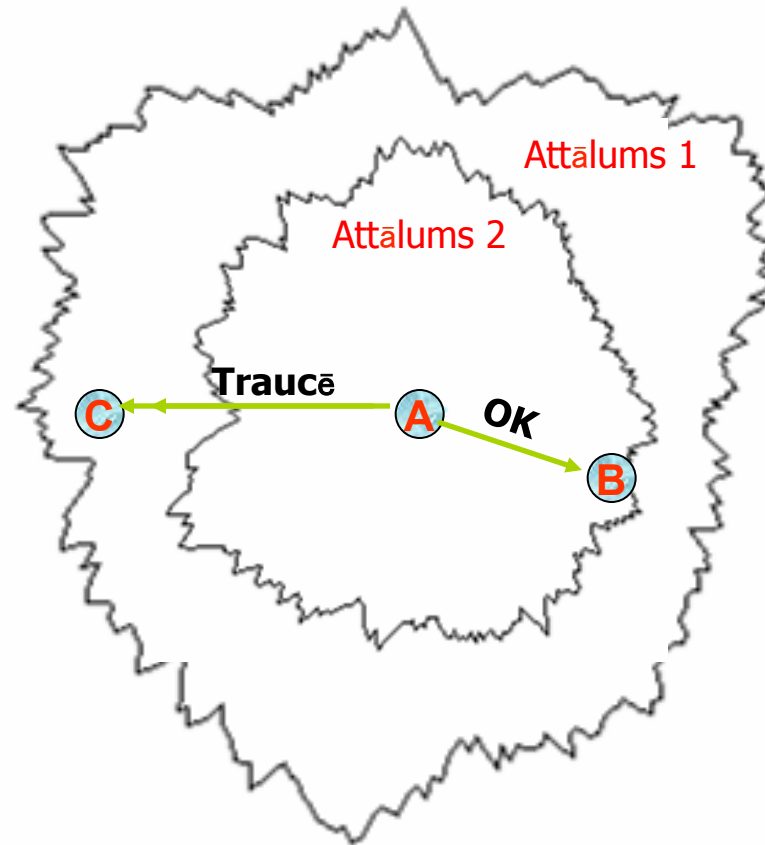


Citas radio realitātes?

■ Interferences attālums

- Parasti interferences attālums ir lielāks par komunikācijas attālumu
- Daži protokoli pieņem, ka, ja attālums lielāks par diviem lēcieniem, tad interference ir nulle
- **Bet nav taisnība:** Vairāku mezglu enerģijas summa var radīt interferenci arī tālāk (jāņem vērā signāla un trokšņa attiecība - SNR nevis lēcienu skaitu)

Radio interference

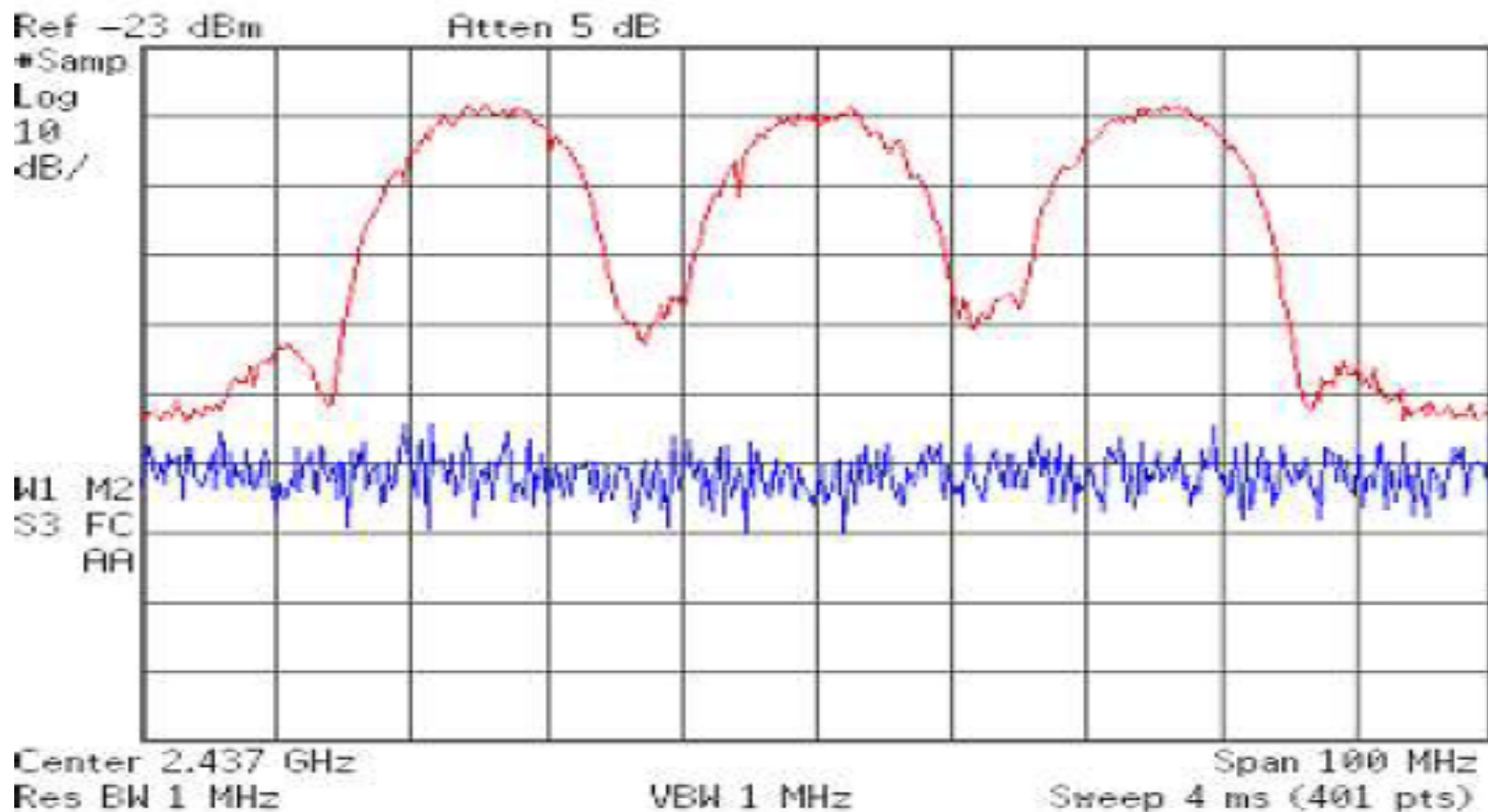


Citas radio realitātes

- Hipotēze: ja divi mezgli vienlaicīgi raida, tad abi ziņojumi ir sakropļoti un zaudēti
 - **Bet ne obligāti** – vienas paketes signāla stiprums var būt lielāks lai tā tiktu saņemta korekti, pat ja otrs mezgls raida tai pat laikā (piemēram, ar būtiski vājāku signālu)

IEEE 802.11 spektrs

- Skaidri redzami trīs kanāli: 1, 6 un 11



Spread Spectrum – Izkliedētais spektrs

- *Spread spectrum* (SS) ir raidīšanas tehnika, kas ar pseido – trokšņa (PN) kodu kas ir neatkarīgs no informācijas datiem tiek izmantota kā modulācijas vilnis, kas “izkliedē” signāla enerģiju pa komunikācijas joslu, kas ir daudz lielāka par signāla informācijas joslu.
- Uztvērējs “at-izkliedē” – sakomplektē signālu, lietojot sinhronizētu PN koda kopiju.

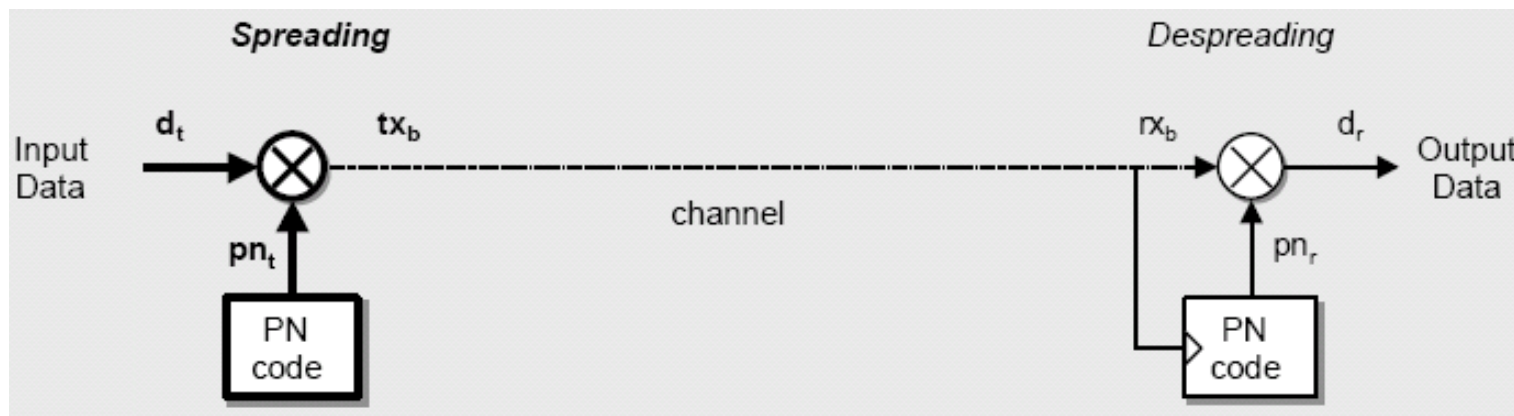
Divi SS veidi

- Frekvences lēkāšanas SS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*
- Tiešās rindas SS - *Direct Sequenced Spread Spectrum*
 - Lieto MicaZ un Tmote Sky sensoru mezglos

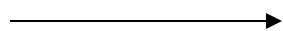
Princips

Sūtītājs

Uztvērējs



0100100100

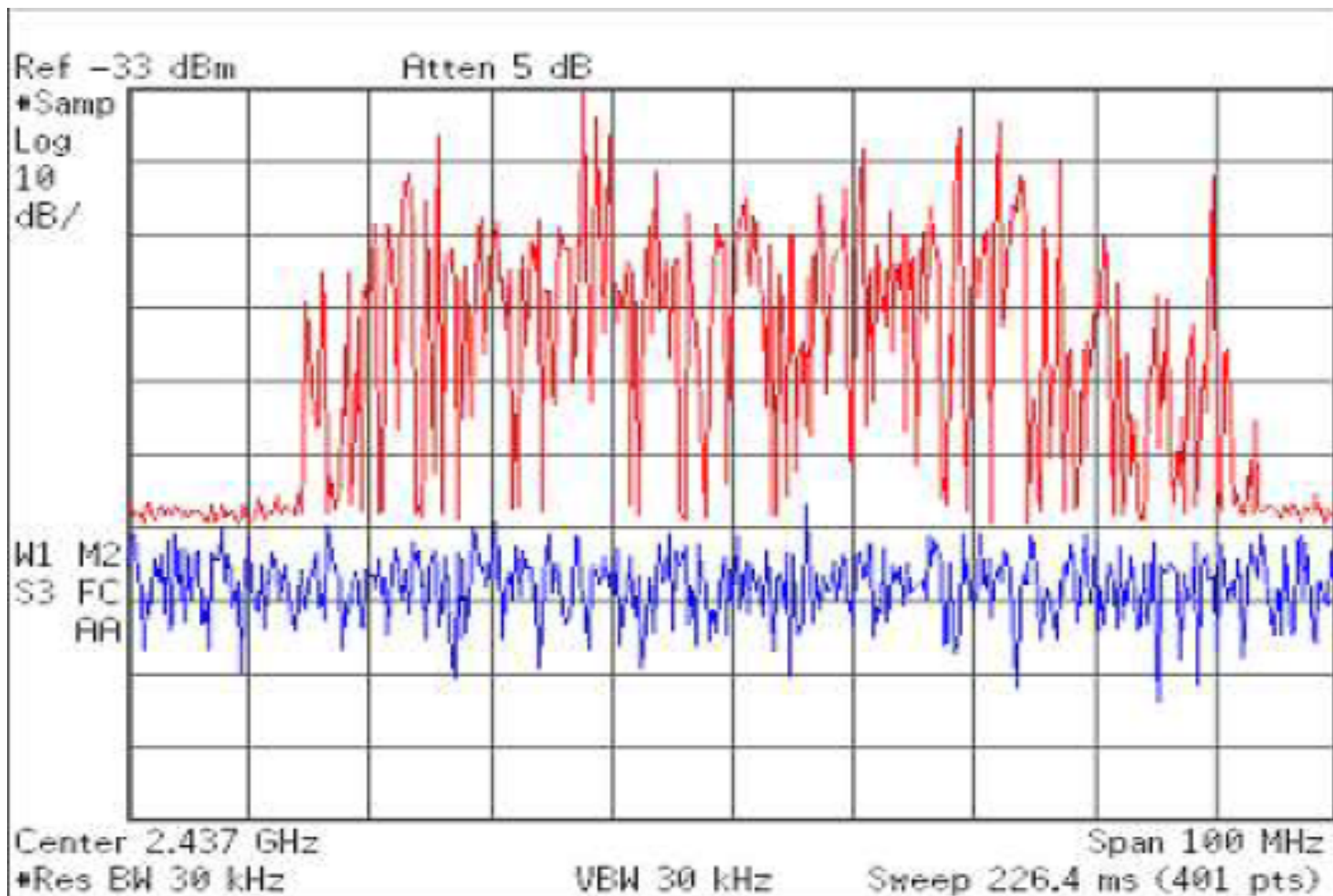


- 00 pie frekvences **A**
- 01 pie frekvences **B**
- 10 pie frekvences **C**
- 00 pie frekvences **D**
- 01 pie frekvences **E**

Zinot PN kodu
un invertējot
kodēšanas
procesu

Piemēram, 16 frekvences kanāli no kā izvēlēties

Frekvenču lēkāšanas spektrogramma



Priekšrocības

- Noturīgs pret tīšiem traucējumiem
 - Traucējot tikai vienu frekvenci tikai daži biti tiek zaudēti, kurus var izlabot augstākā kodēšanas līmenī
- Noklausītāji (spiegi) dzird tikai dažus bitus
- Labāka noturība pret troksni un daudz-taku kropļojumiem
- *Vairāki lietotāji var raidīt vienlaicīgi (!), praktiski netraucējot viens otru (vai ļoti maz traucējot)*

Piemērs

- Lieto *Spread Spectrum* ar kodu
- Lietotājam A ir kods, kas norāda frekvences 3,7,2,8
- Lietotājam B kods norāda frekvences kas šķēlumā ar iepriekšējo frekvenču kopu dod tukšu kopu, piemēram 5, 6, 14, 1, 4

Piemērs: Radio komponente CC 2420

- DSSS
- 250kbps efektīvais datu pārraides ātrums
- Q-QPSK ar pus-sinusa pulsa formēšanas modulāciju
- Zems enerģijas (strāvas) patēriņš (RX: 19.7 mA, TX: 17.4 mA)
- Programmējama raidītāja jauda
- 16 frekvenču kanāli (IEEE 802.15.4 standarts)
 - $F_c = 2450 + 5(k-11)$ MHz, $k = 11, 12, \dots, 26$
- MAC kriptēšanas iespēja aparatūrā

Kopsavilkums

- Radio neregularitātes ir realitāte
- Daudzi protokoli darbojas vāji, jo tie ignorē šo problēmu (MAC, maršrutizācija, lokalizācija, topoloģijas kontrole)
 - Tie realitātē nav ļoti derīgi...
- SGF, *Bounded Distance* – tātad eksistē risinājumi, kas ņem vērā minētās problēmas
- Radio interferences realitātes arī ir problēma
- *Spread Spektrum* ir labs risinājums, noturīgs pret dažādiem radio traucējumiem