

OFDM signālu konstrukcijas un to uzlabošana

Artūrs Āboltiņš

Semināra mērķi

- iepazīstināt auditoriju ar OFDM signālu konstrukcijām
- apskatīt nesinusoidālu funkciju izmantošanas iespējas un ar tām saistītās problēmas
- Prezentēt simulāciju rezultātus un praktiskas idejas

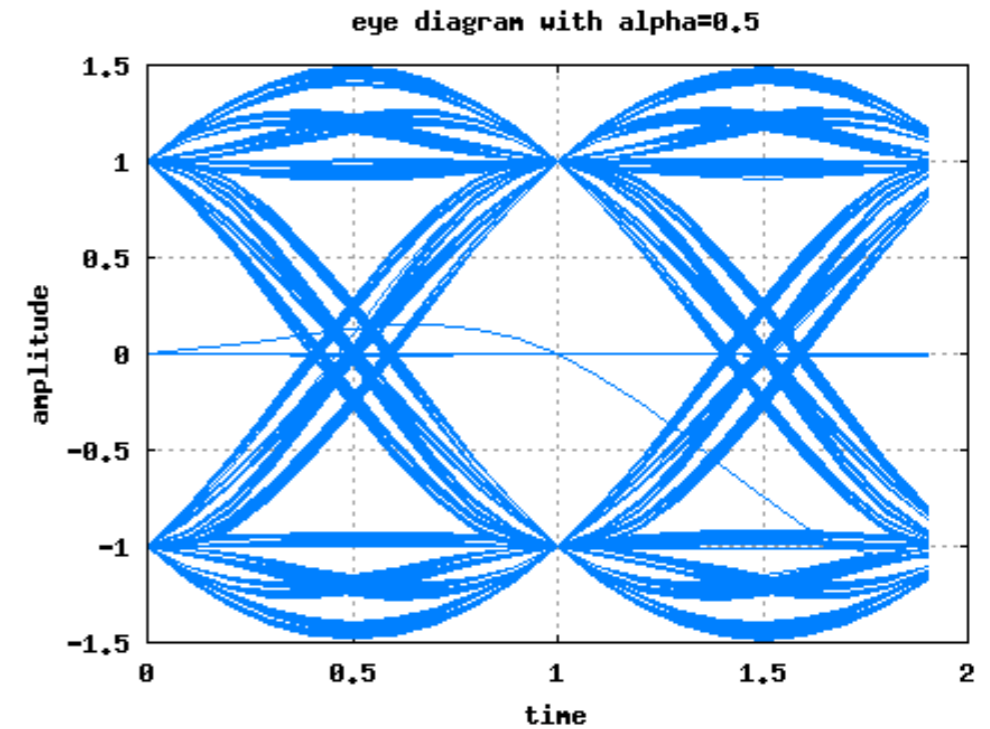
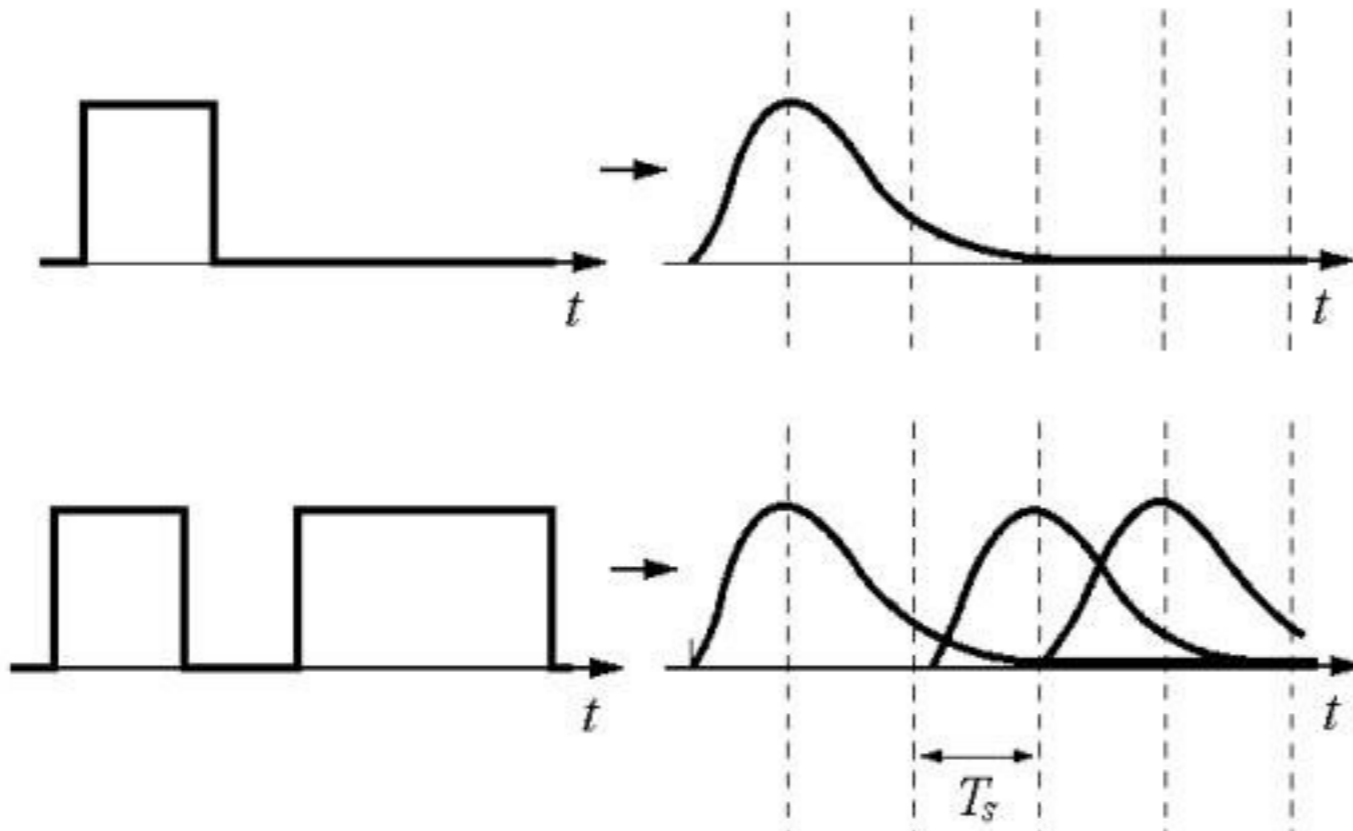
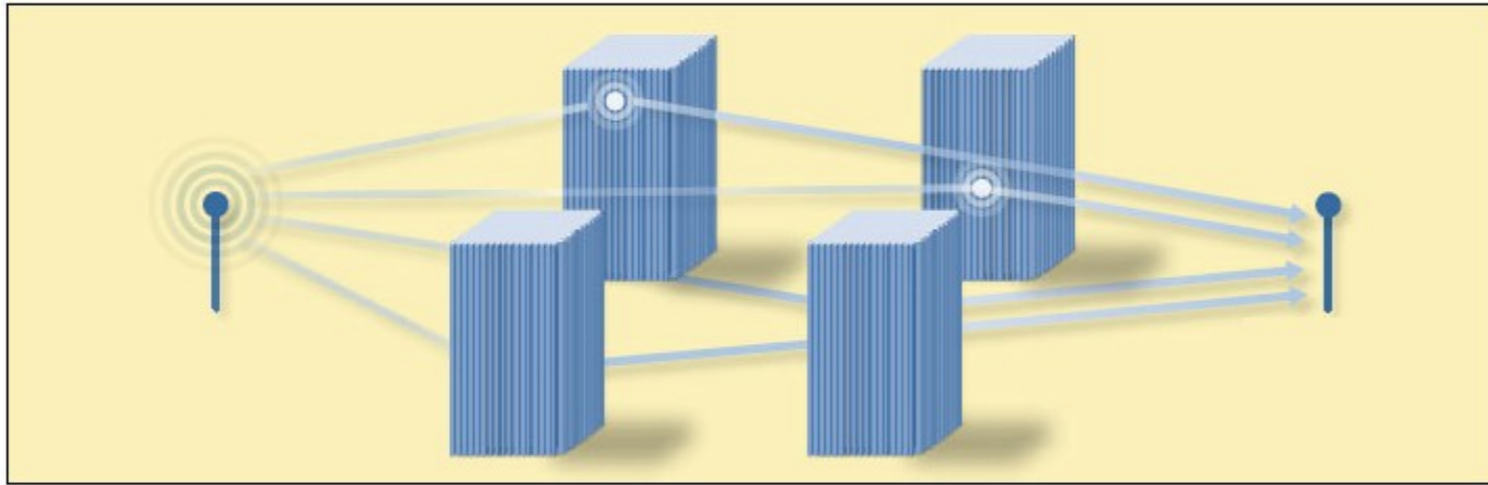


Saturs

→ **OFDM**

- Nesinusoidālu funkciju izmantošana
- Simulācijas un praktiskā realizācija

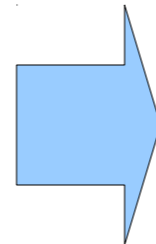
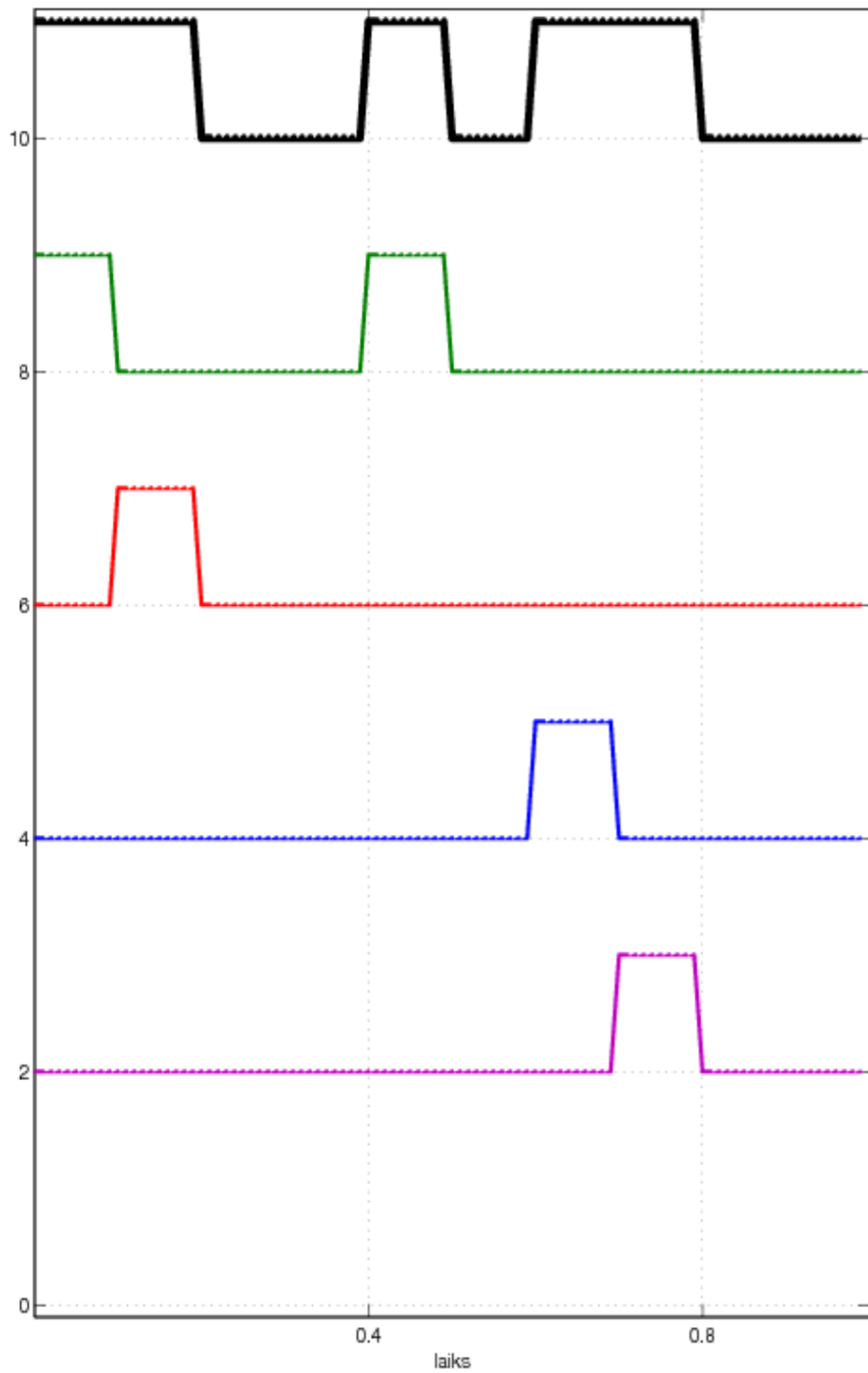
ISI (ICI) datu pārraidē



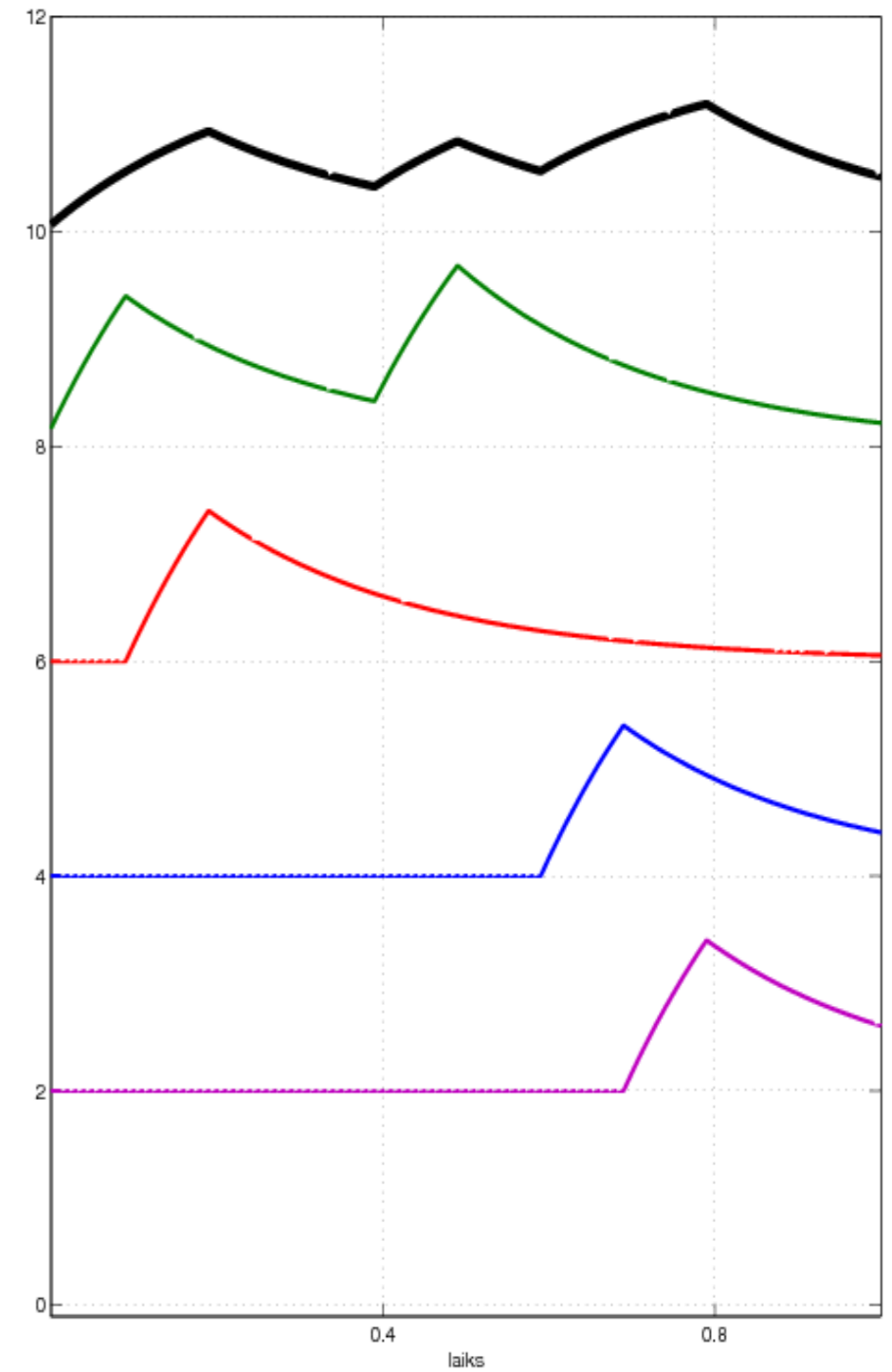
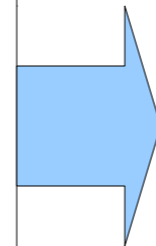
ISI samazināšana

- Frekvenču apgabala ekvalaizers
- Laika apgabala ekvalaizers ar adaptīvu ciparu filtru (PSTN modēmi)
- Demultipleksācija vairākās zemāka ātruma plūsmās.

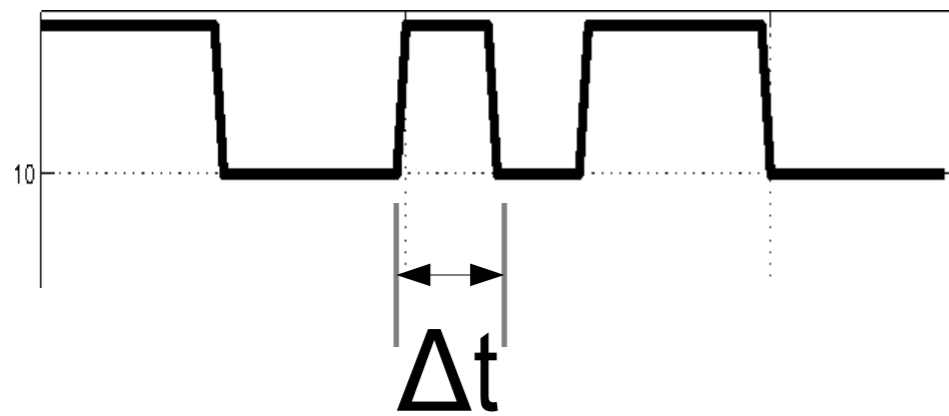
ISI samazināšanās zemāka pārraides ātruma kanālos



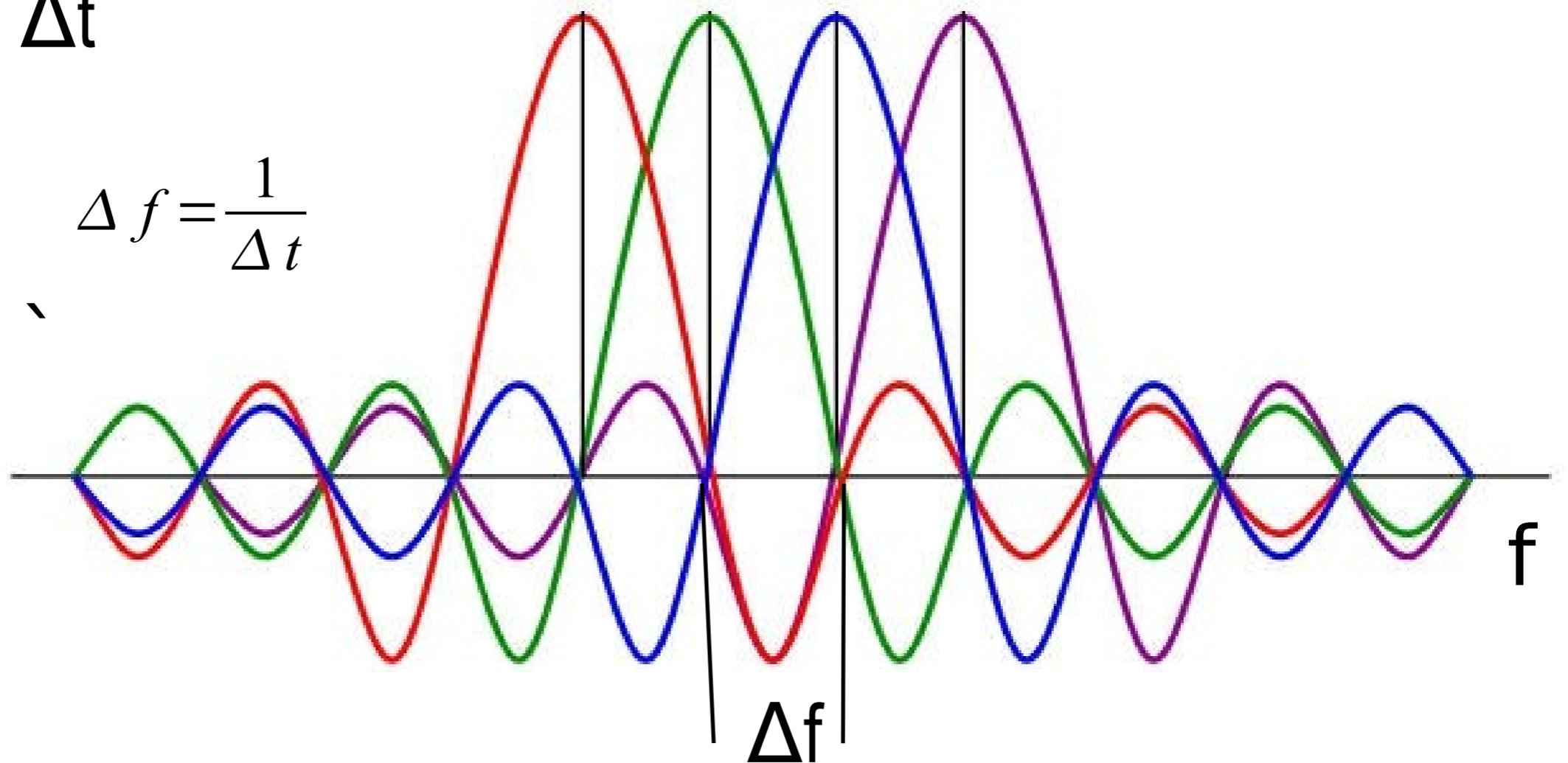
Sakaru kanāls



Frekvenčdales blīvēšana ar ortogonālām nesējām (OFDM)



$$\Delta f = \frac{1}{\Delta t}$$



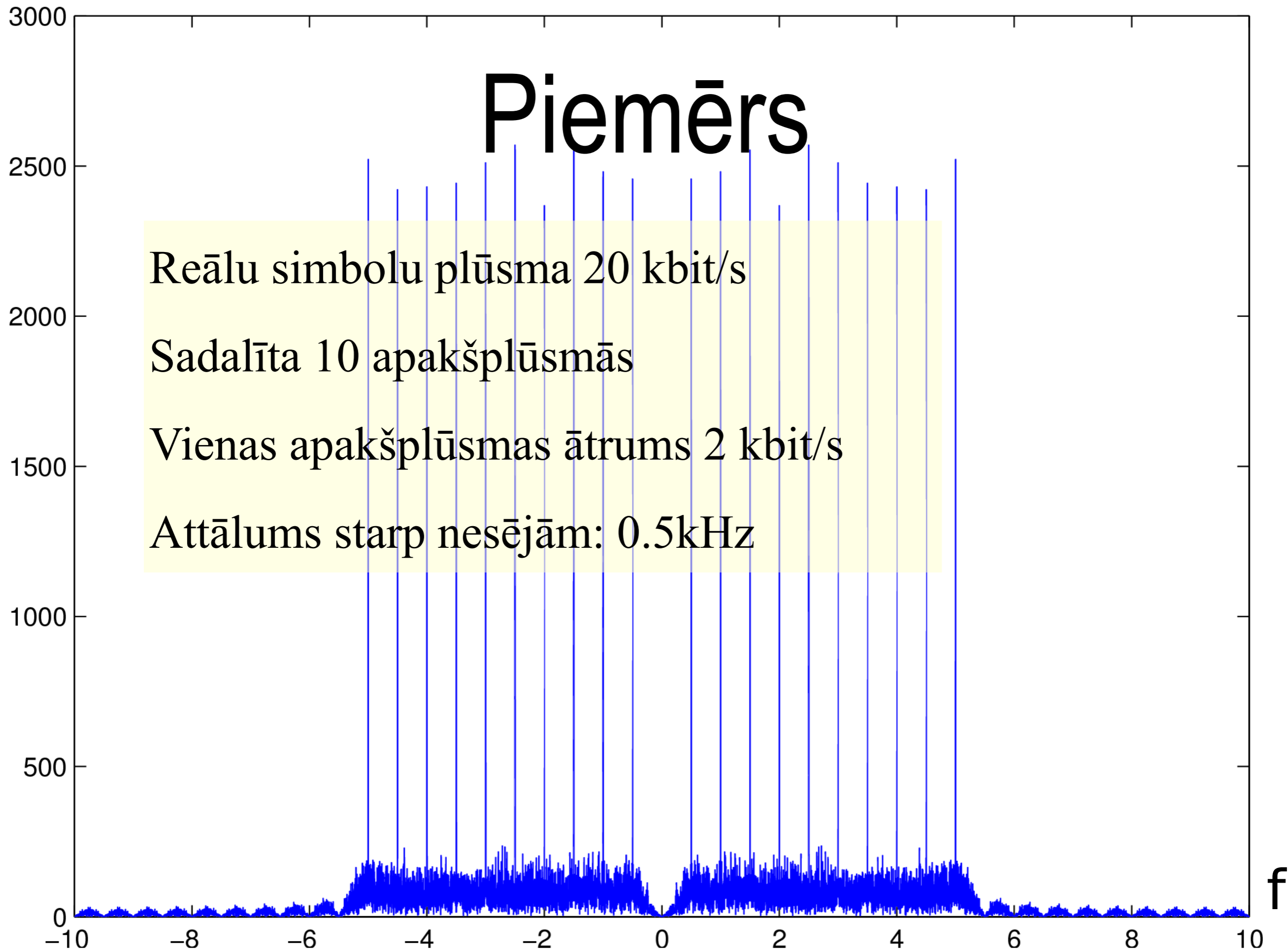
Piemērs

Reālu simbolu plūsma 20 kbit/s

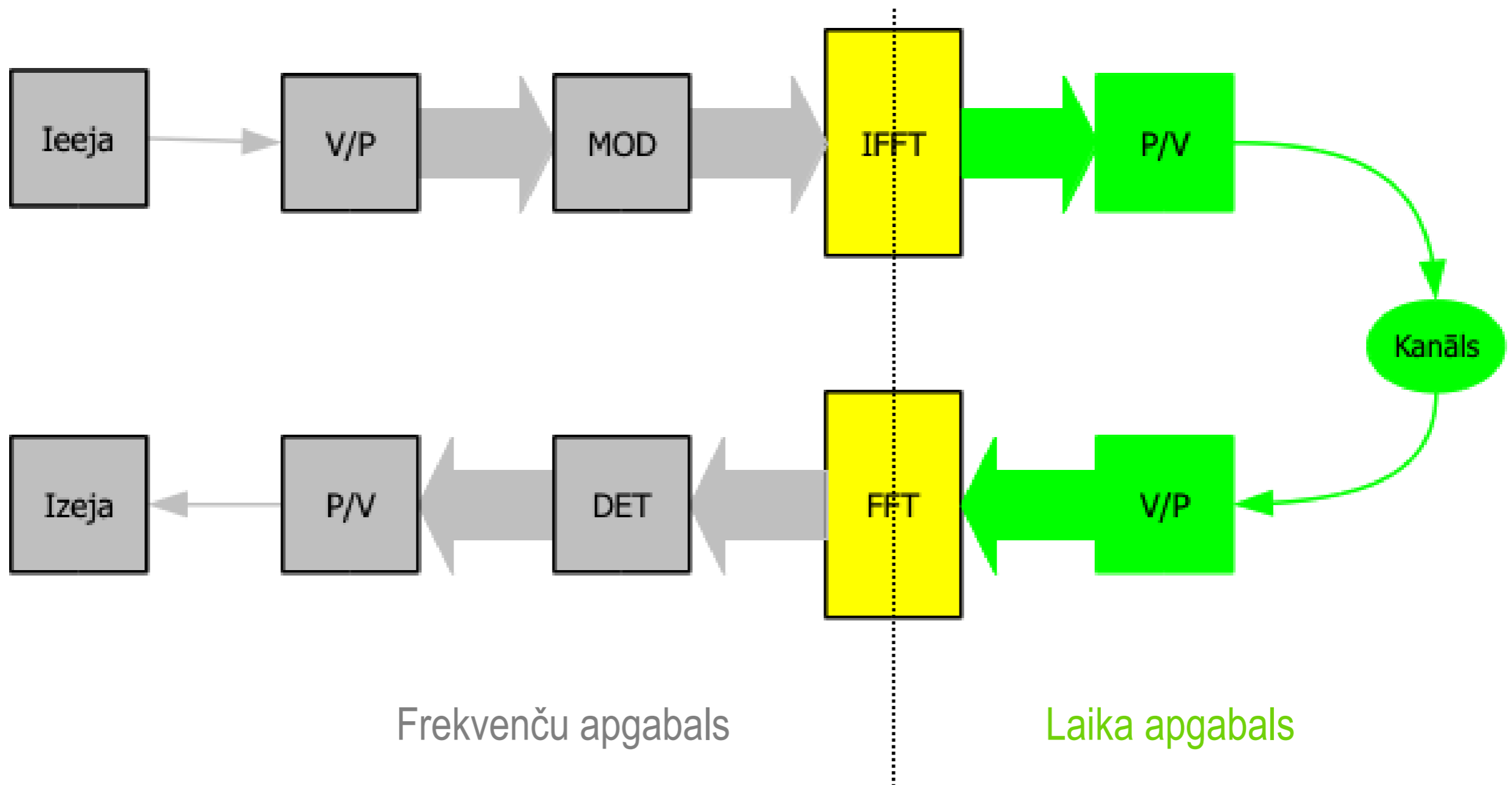
Sadalīta 10 apakšplūsmās

Vienas apakšplūsmas ātrums 2 kbit/s

Attālums starp nesējām: 0.5kHz



Sakaru sistēma



Bloku pārraide

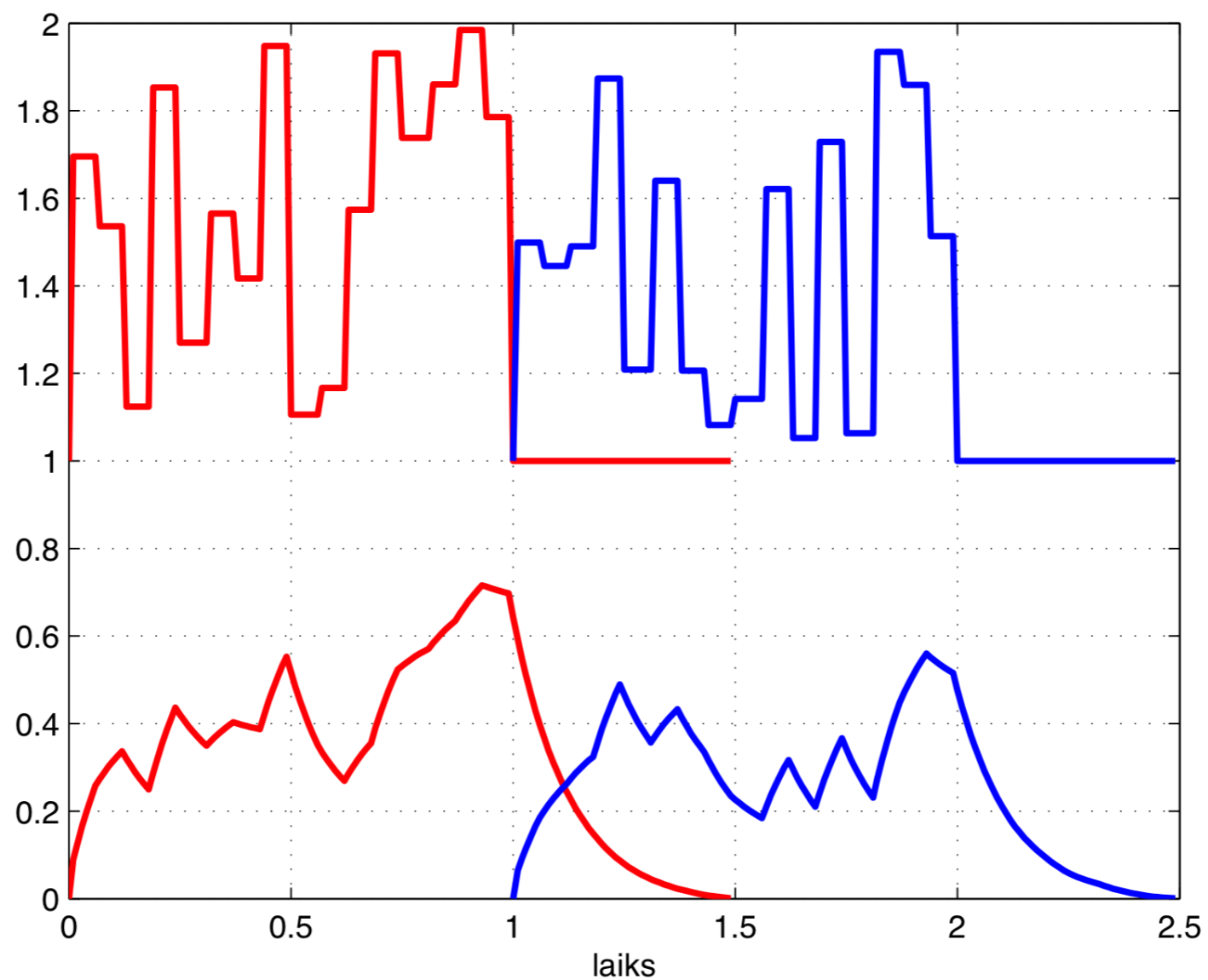
Priekšrocības:

- Var izmantot FFT
- Var iestarpināt citus signālus vai pauzes

Trūkumi:

- Parādās V/P, P/V pārveidojuma aizture
- Pieaug nepieciešamie skaitļošanas resursi
- Parādās starp-simbolu interference (ISI)

OFDM ISI laika apgabalā



Kanāla ieejā

Kanāla izejā



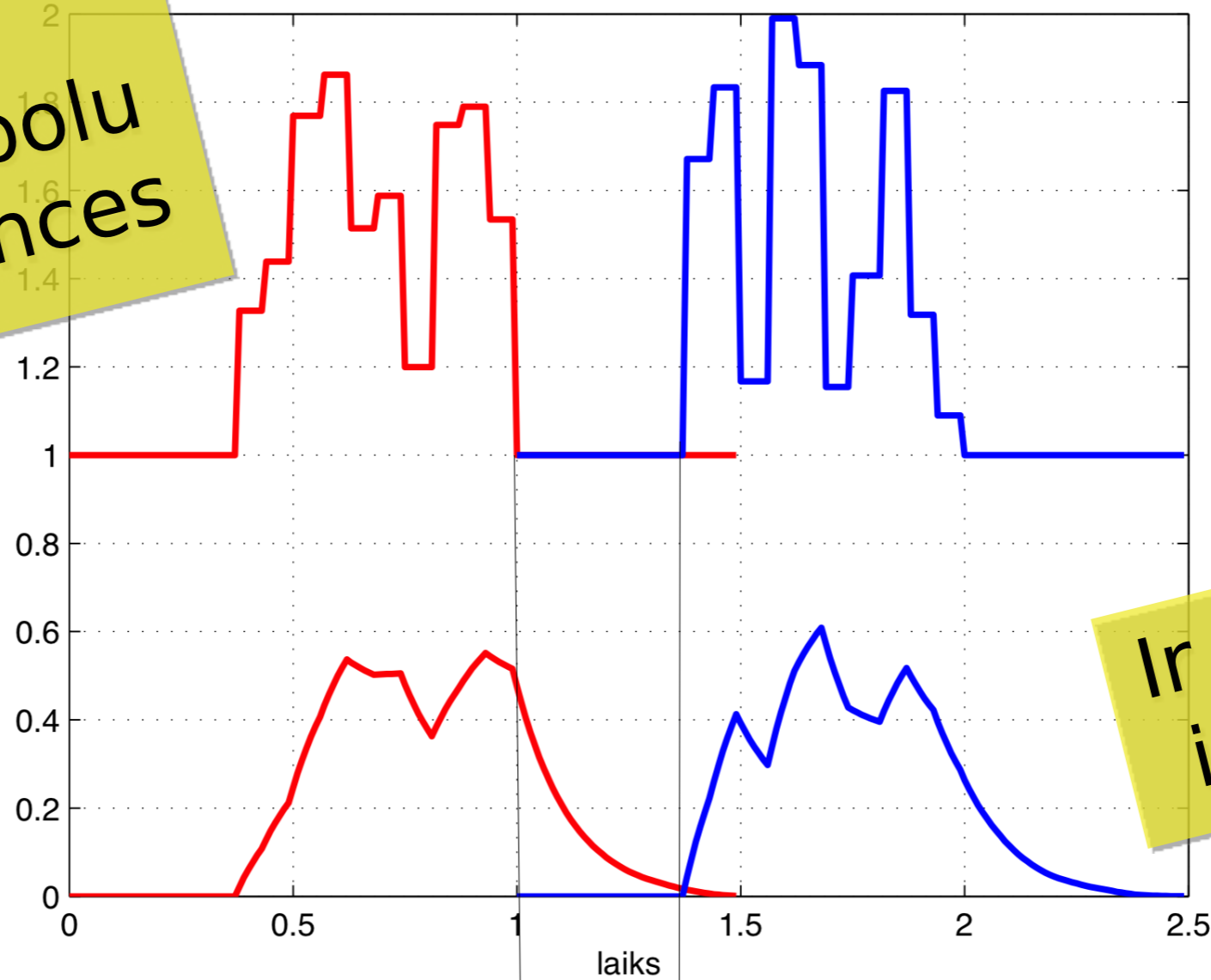
1. OFDM simbols
(16 nolases)



2. OFDM simbols
(16 nolases)

Gausa kanāls ar starp-nesēju interferenci (ICI)

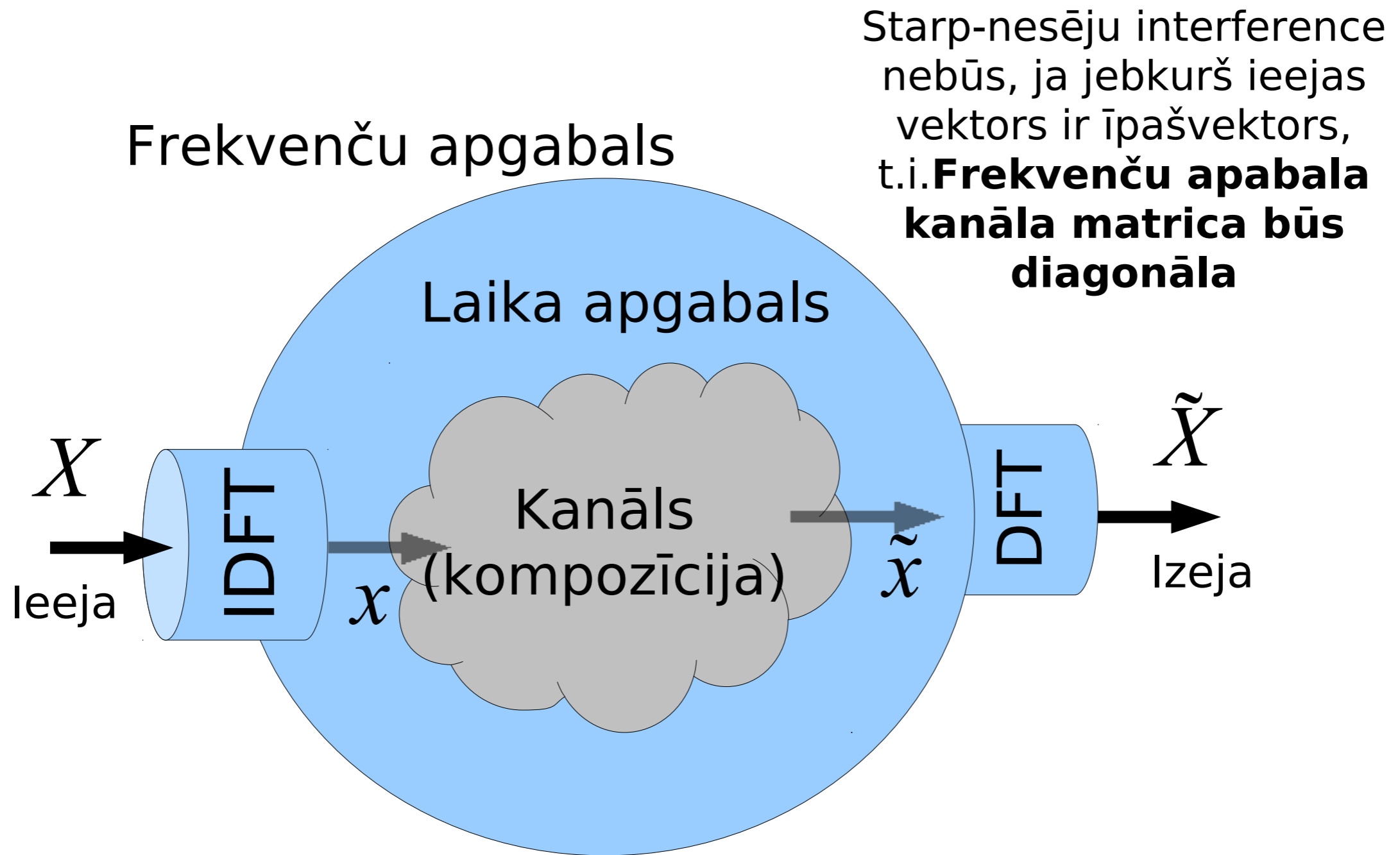
Nav starpsimbolu interferences



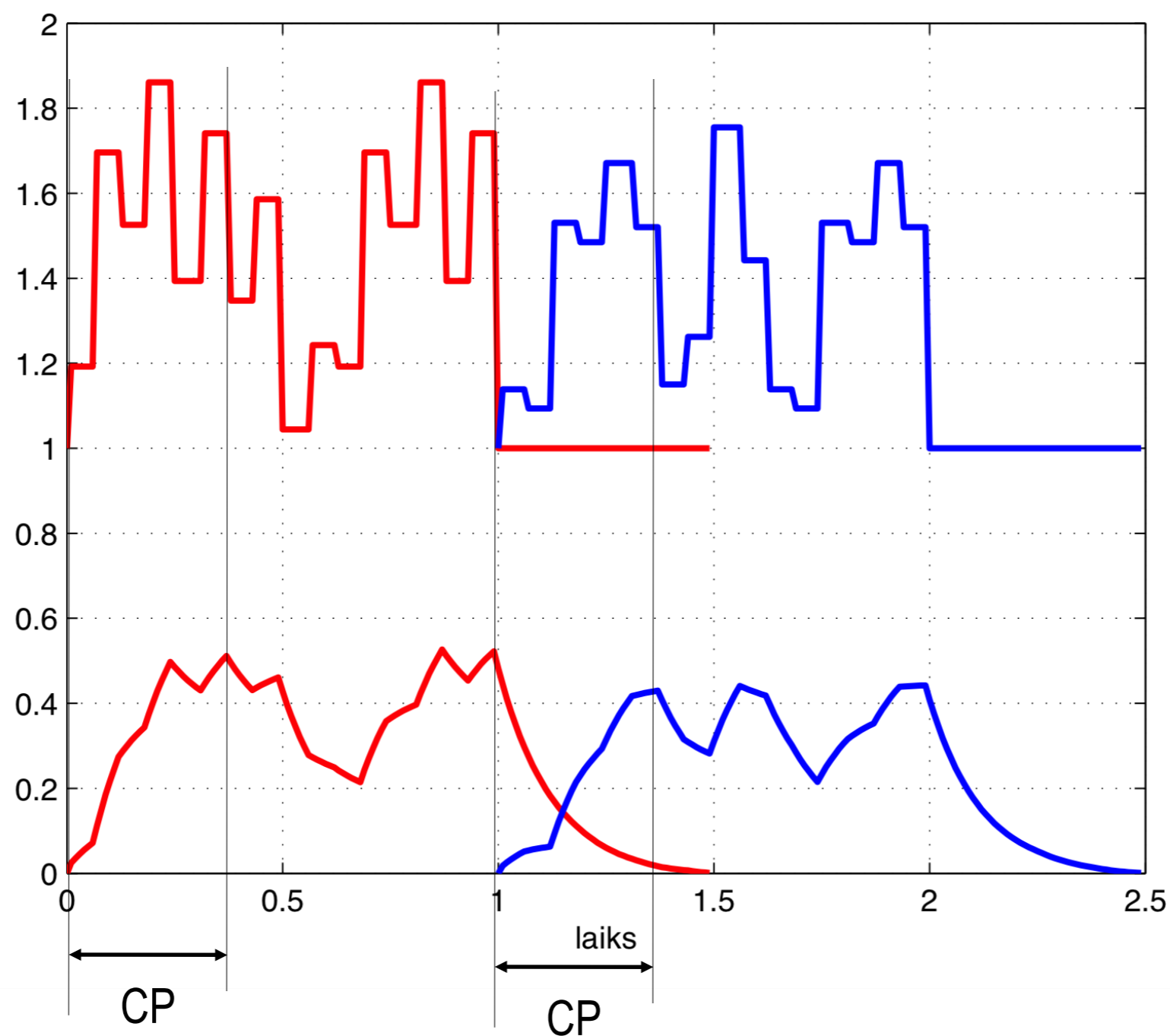
Ir starpnesēju interference

Aizsargintervāls (Guard Interval)

Modelis



Cikliskais prefikss (Guard interval)



Kanāla matrica sistēmai ar CP (GI)

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_0 \\ \tilde{x}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \tilde{x}_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & h_{L-1} & \cdot & \cdot & \cdot & h_1 \\ h_1 & h_0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & h_{L-1} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & h_1 & h_0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & h_{L-1} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & h_0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & h_{L-1} \\ h_{L-1} & \cdot & \cdot & \cdot & h_1 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & h_{L-1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & h_{L-1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & h_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{N-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_{N-1} \end{bmatrix}$$

Kanāla matrica ir **circulāra** Teplica matrica

Gausa kanālu bez starp-nesēju traucējumiem (ICI) iegūšana

Diagonalizācija!

$$\text{eig}([K]) = \text{DFT}(\vec{h}) = \vec{H}$$

$$H_i = \sum_{n=0}^{L-1} h_n e^{-j\frac{2\pi}{L}in}$$

$$X_i = \sum_{n=0}^N x_n e^{-j\frac{2\pi}{N}in}$$

$$\vec{\tilde{x}} = [K] \vec{x} + \vec{w}$$

$$\tilde{X}_i = H_i X_i + W_i$$

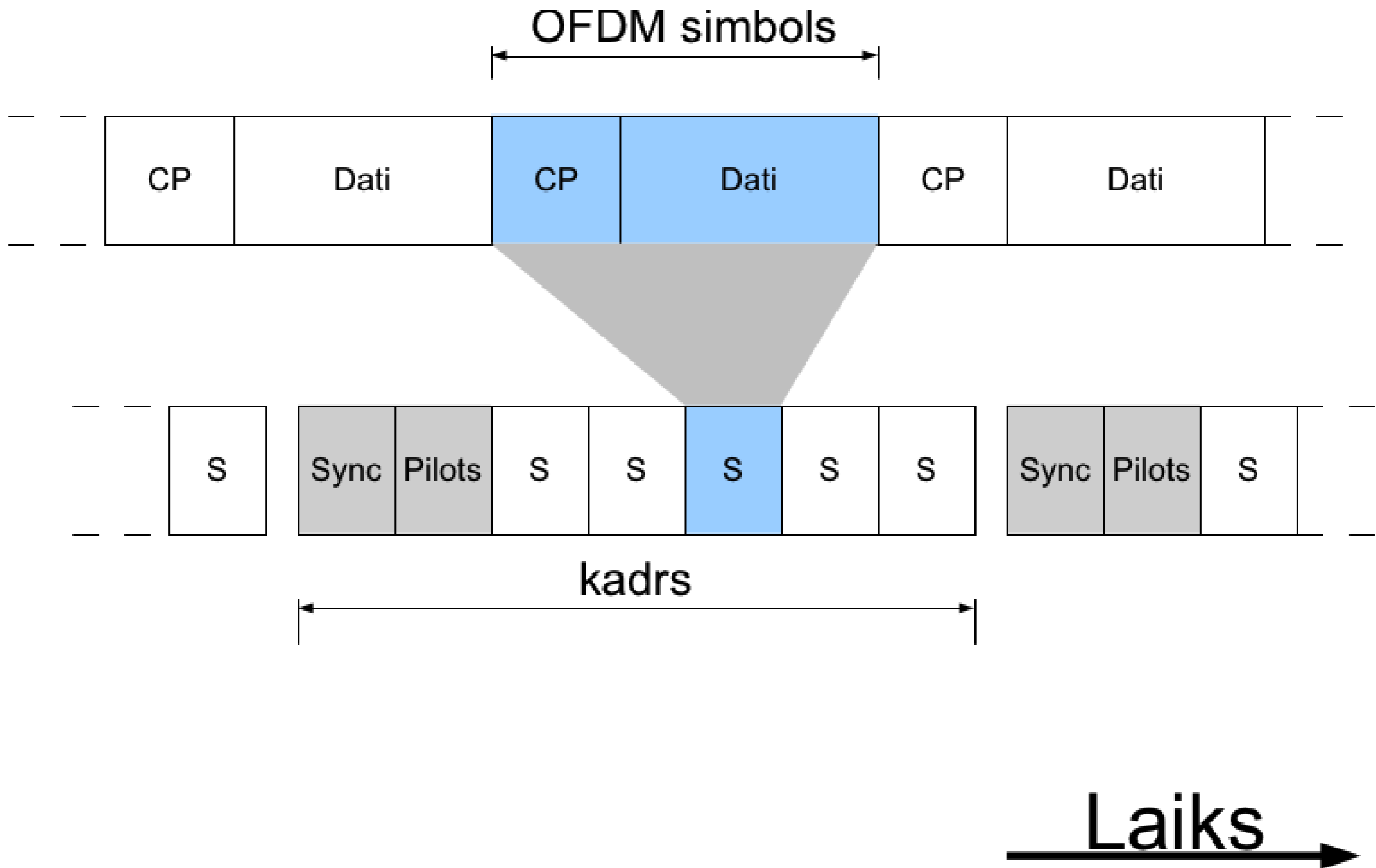
Skalārs reizinājums

Frekvenču apgabala vienādojums

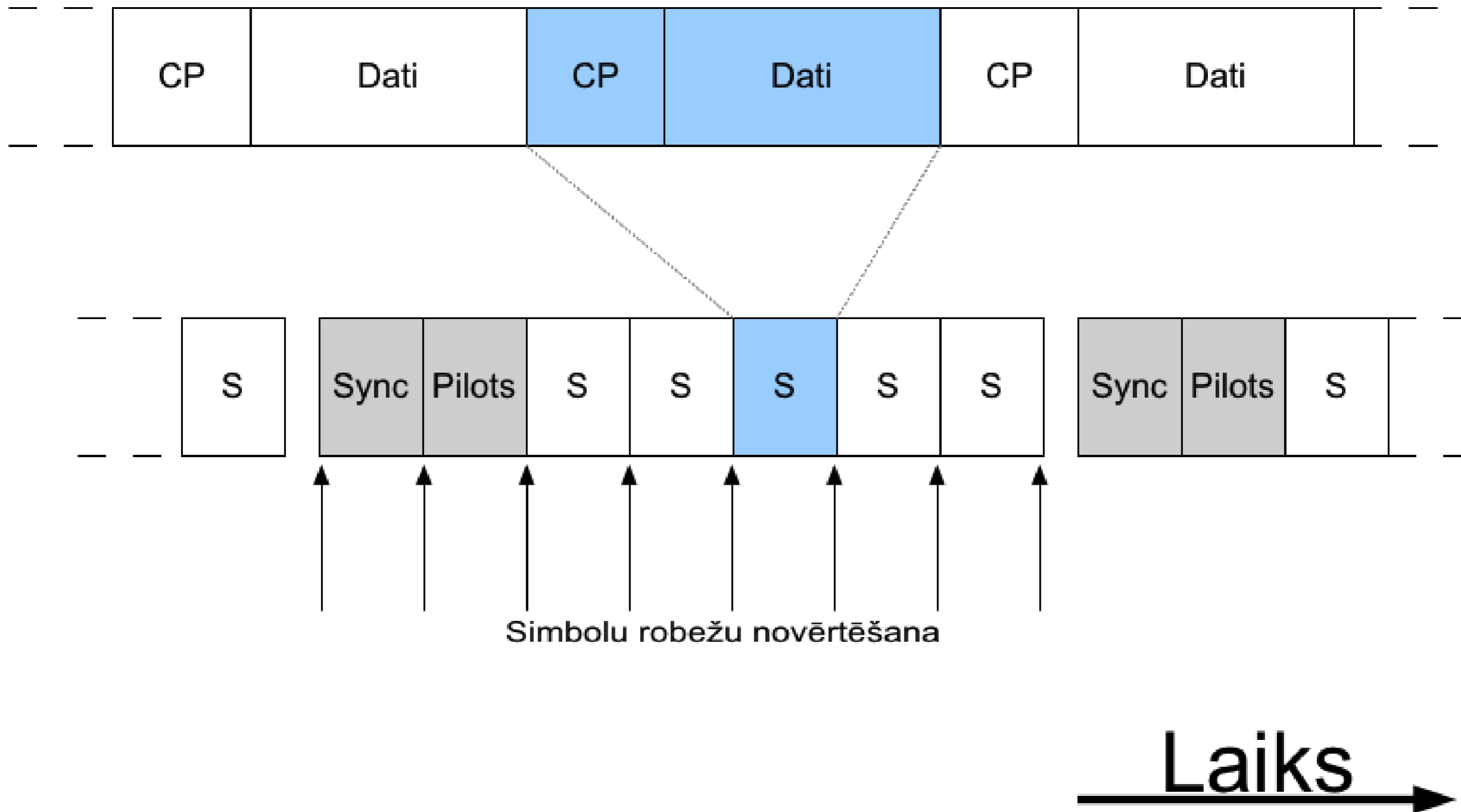
$$\begin{pmatrix} \tilde{X}_0 \\ \tilde{X}_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \tilde{X}_{N-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & H_1 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & H_{N-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{N-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_0 \\ W_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_{N-1} \end{pmatrix}$$

Demonstrācija

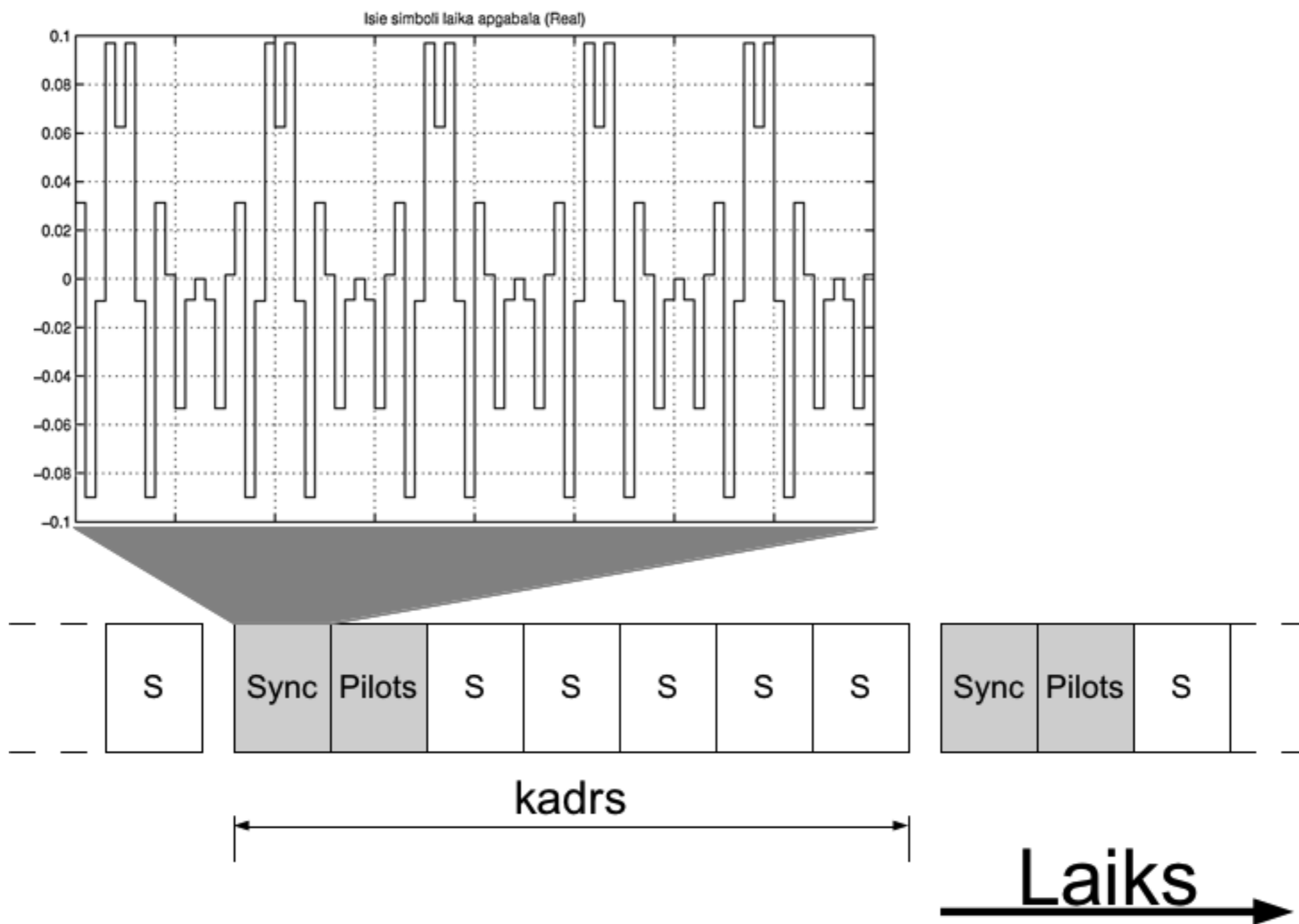
Signāla struktūra



Simbolu sinhronizācija

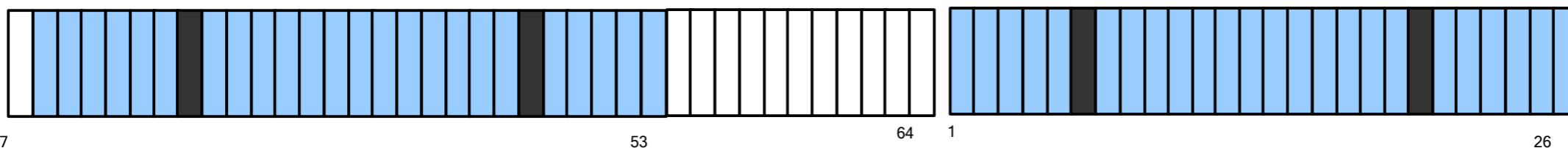


Kadru sinhronizācija



Kanāla novērtēšana un korekcija

Vienmērīgi izvieto pilotonus (nesējas)



Nemot vērā, ka kanāli ir **neatkarīgi**:

$$\tilde{X}_i = H_i X_i + W_i$$

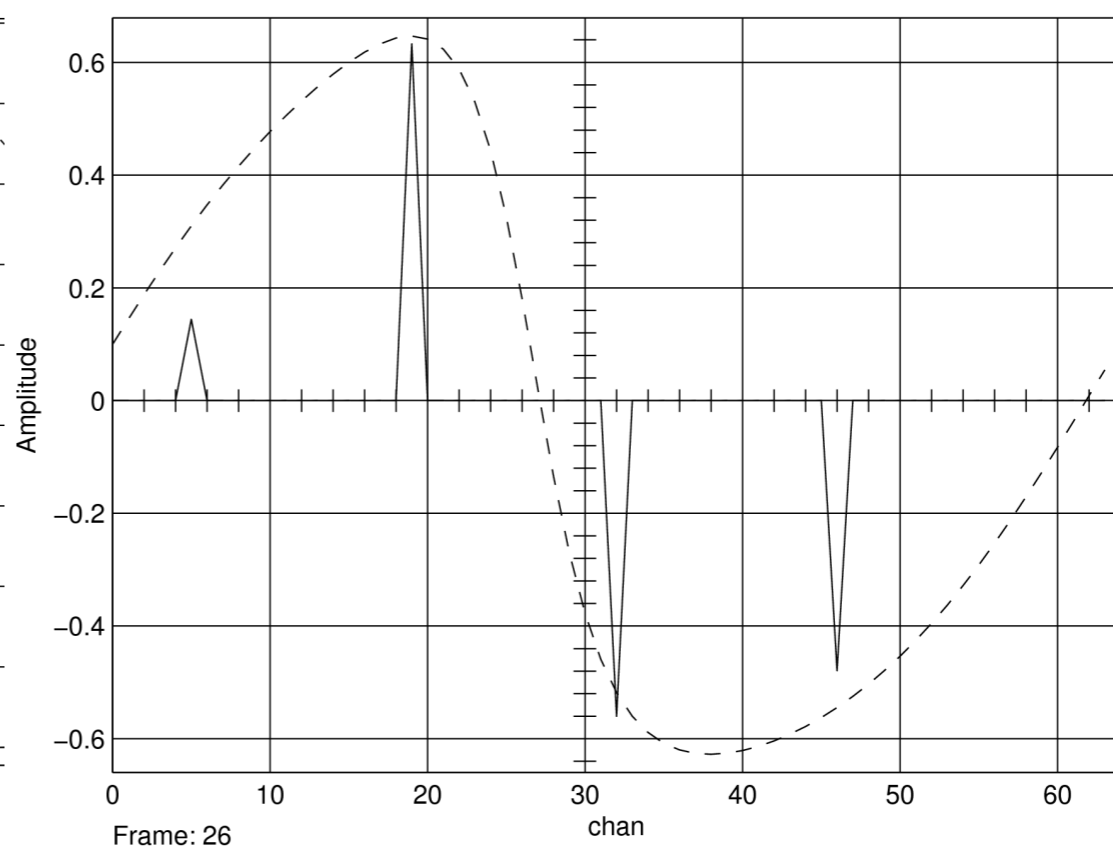
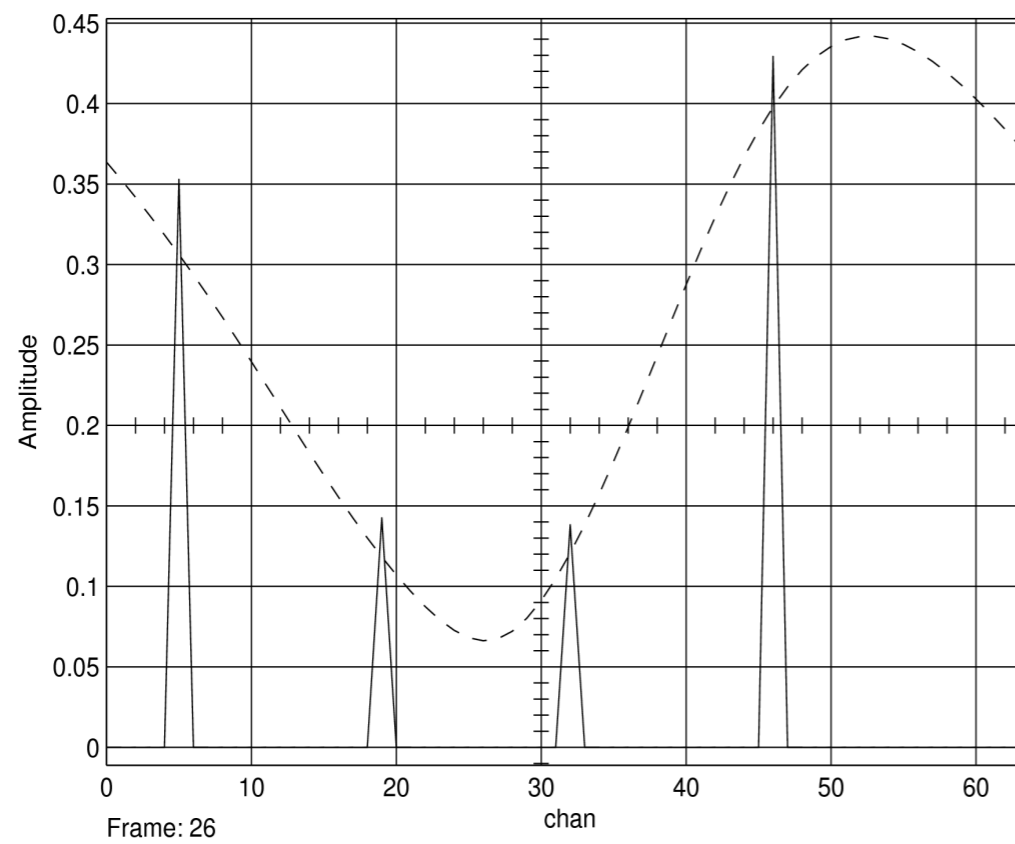
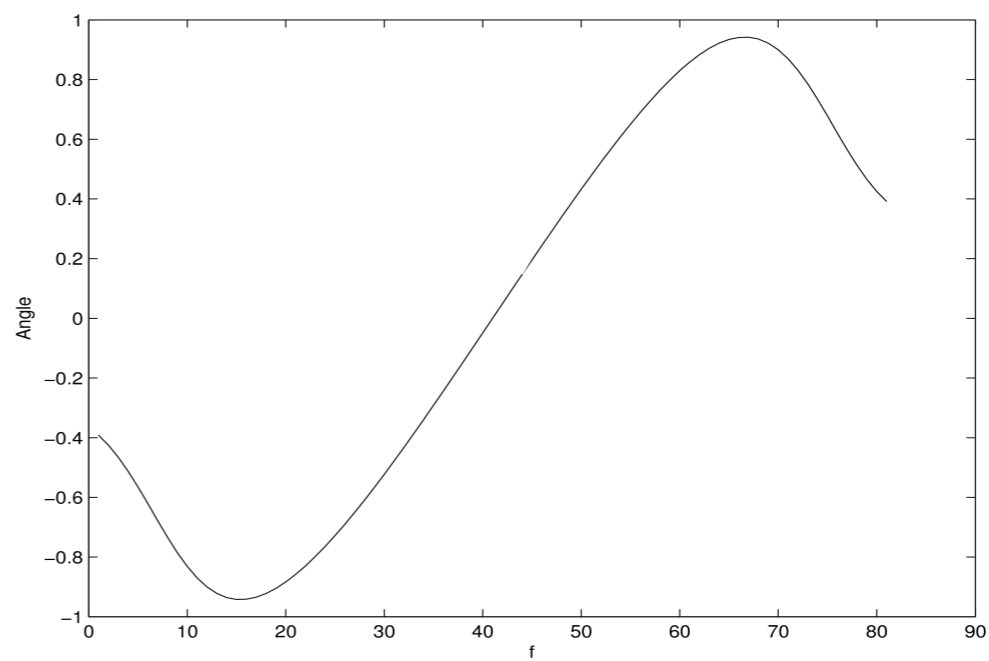
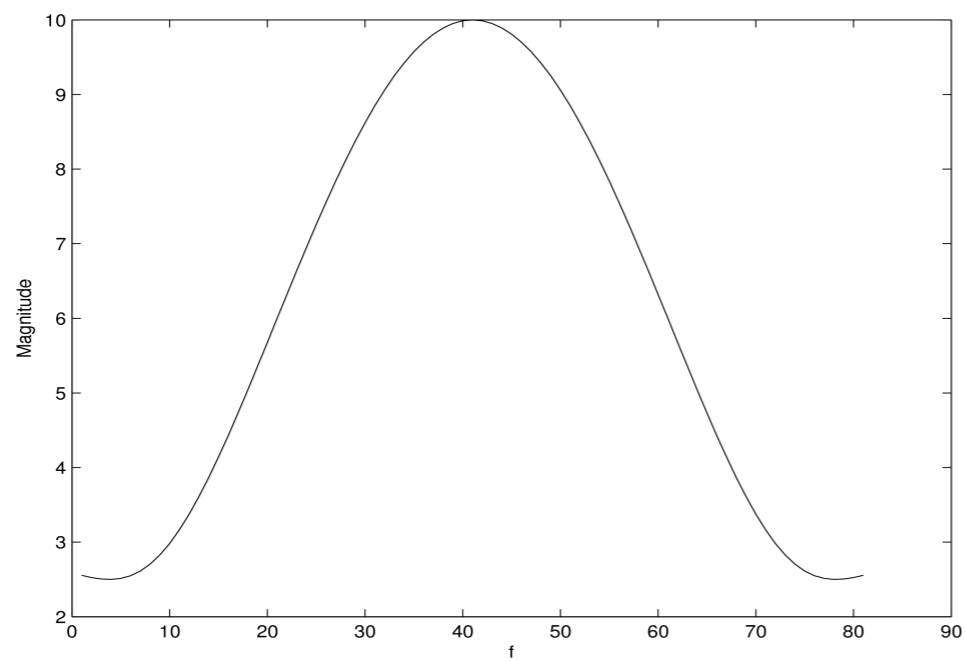
ja $X_i = 1$

Ekvalaizera koeficienti:

$$E_i = \frac{1}{H_i} = \frac{\tilde{X}_i^*}{|\tilde{X}_i|^2}$$

Pēc tam - interpolācija

Piemērs



Piemēri

Tehnoloģija	FFT	CP garums	josla
DVB-T	2048, 4096, 8192	1/4 - 1/32	5-8 MHz
802.11g	64	1/4	22 MHz
ADSL	255	1/8	1 MHz
Mondiale	128 256 512	1/8-3/4	9 – 20 kHz

Saturs

→ OFDM

→ **Nesinusoidālu funkciju izmantošana**

- Ortogonālās transformācijas, GONDM
- Prasības pret transformāciju
- Sinhronizācijas problēmas
- Esošie risinājumi

→ Simulācijas un realizācija

Leņķiskās transformācijas

(Prof. P.Misāns, Phd. M.Tērauds)

$$y = \Phi x$$

$$\Phi = \prod B$$

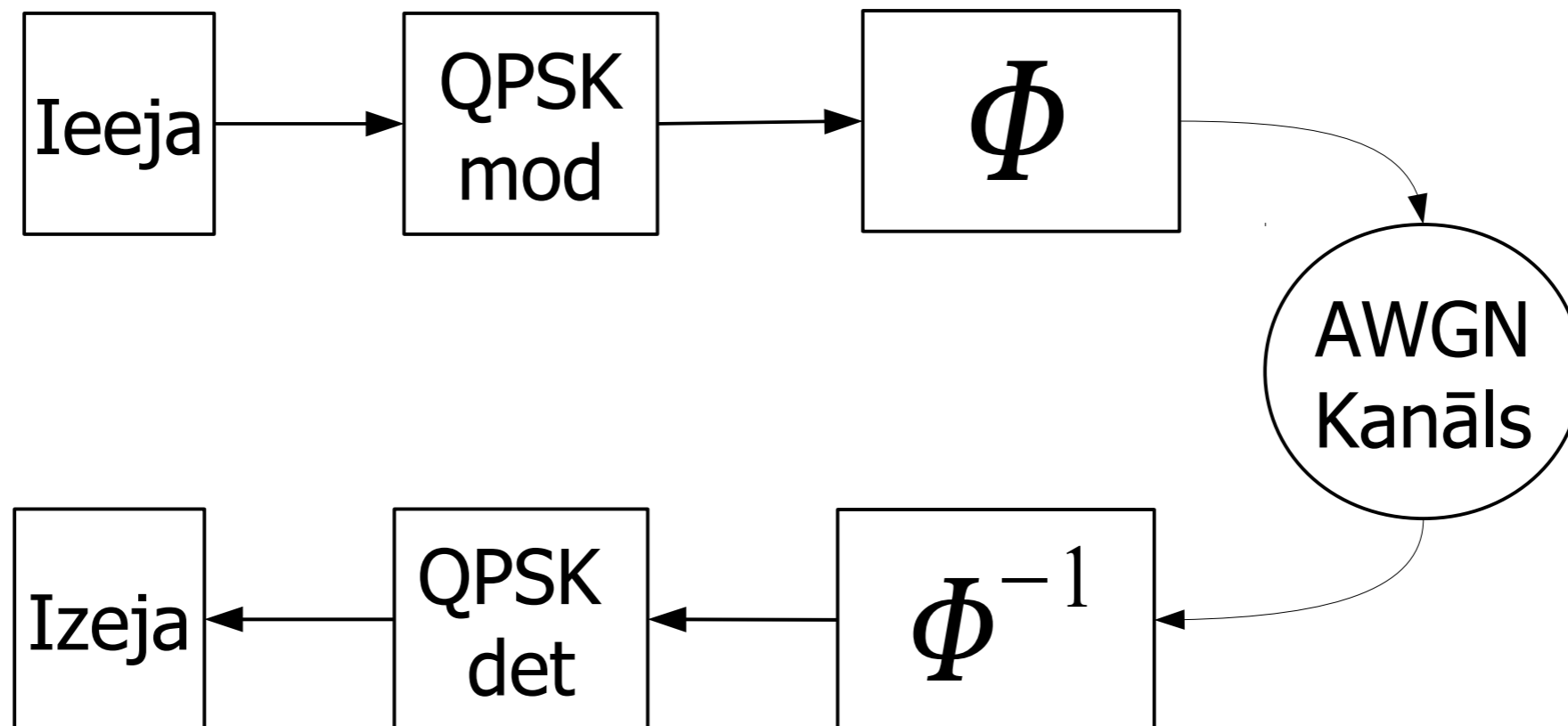
$$x = \Phi^T y$$

$$\Phi^T = \prod B^T$$

$$B = \begin{bmatrix} \tau_1^1 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_2^1 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \tau_{N/2}^1 \\ \tau_1^2 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_2^2 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \tau_{N/2}^2 \end{bmatrix}$$

$$T(\phi, \psi, \gamma) = \begin{bmatrix} \tau^1 \\ \tau^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\phi e^{j\gamma}) & \mp \sin(\phi e^{j\gamma}) \\ \pm \sin(\phi e^{j\gamma}) & \cos(\phi e^{j\gamma}) \end{bmatrix}$$

GONDM



Pie BER 10^{-4} tika iegūts 2dB vinnests salīdzinot ar FFT

© Prof. P.Misāns, doktorants G.Valters, 2010

Prasības pret transformāciju

Transformācijai ir jānodrošina kanāla matricas diagonalizāciju. Pretējā gadījumā rodas starpnesēju interference un nestrādā kanāla novērtēšana

Piezīmes:

- Kanāla matrica $[K]$ un operācija $\tilde{\vec{x}} = [K] \vec{x} + \vec{w}$ ir viennozīmīga un nav atkarīga no bāzes f-ju izvēles.
- Ja kanālā ir tikai cikliska konvolūcija, DFT ir optimāla transformācija (diagonalizāciju nodrošina vienīgi DFT).

Diagonalizācija lietojot SVD

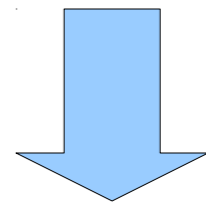
Lai veiktu diagonalizāciju, var lietot SVD (singular value decomposition) vai citas iteratīvas tehnikas (piemēram, GMD).

$$[K] = [U] * [S] * [V]$$

Raidītāja
transformācija

Uztvērēja
transformācija

$$\tilde{\vec{x}} = [K] \vec{x} + \vec{w}$$



$$\tilde{X}_i = H_i X_i + W_i$$

Problēma: U un V mainās atkarībā no h(t)

Leņķisko f-ju izmantošana

Diagonalizācijai var izmantot **Jakobi SVD** skaitļošanas algoritmu, kas balstās uz rotāciju (© I.Oka, 2006).

Brīvi izvēlētai transformācijai, optimālo kanāla matricu var atrast atrisinot **inverso īpašvērtību uzdevumu**.

sinhronizācijas problēmas

Esošie (simbolu u.c.) sinhronizācijas algoritmi izmanto OFDM ciklisko prefiksu (CP).

CP lietošana ir pamatota tikai sistēmās ar FFT

Alternatīvi risinājumi

- OWDM – orthogonal wavelet division multiplexing, WPM - wavelet packet modulation):

- Nav nepieciešams CP

OWSS – orthogonal wavelet spread spectrum

(© Myers, Jain 2001)

Mani teorētiskie mērķi

- Optimālā GONDM pārveidojuma atrašana konkrētam kanālam
- Izstrādāt novērtēšanas un korekcijas algoritmu šim pārveidojumam
- Izstrādāt sinhronizācijas algoritmus šim pārveidojumam

Saturs

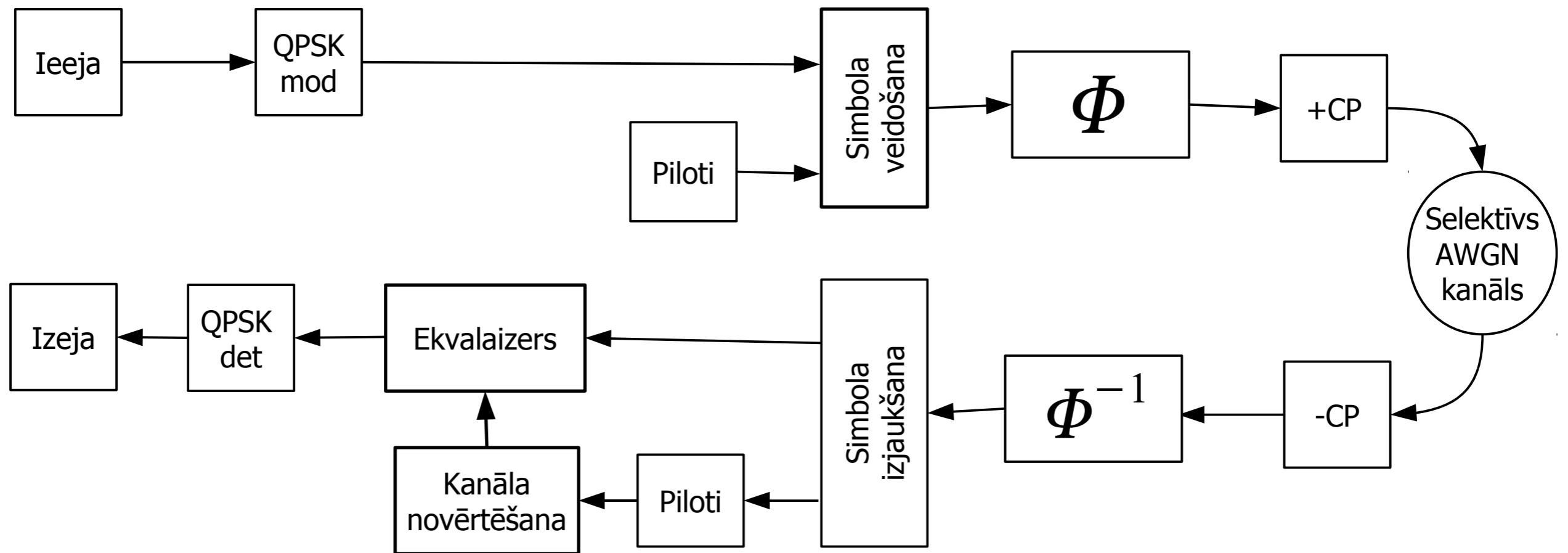
→ OFDM

→ Nesinusoidālu funkciju izmantošana

→ **Simulācijas un praktiskā realizācija**

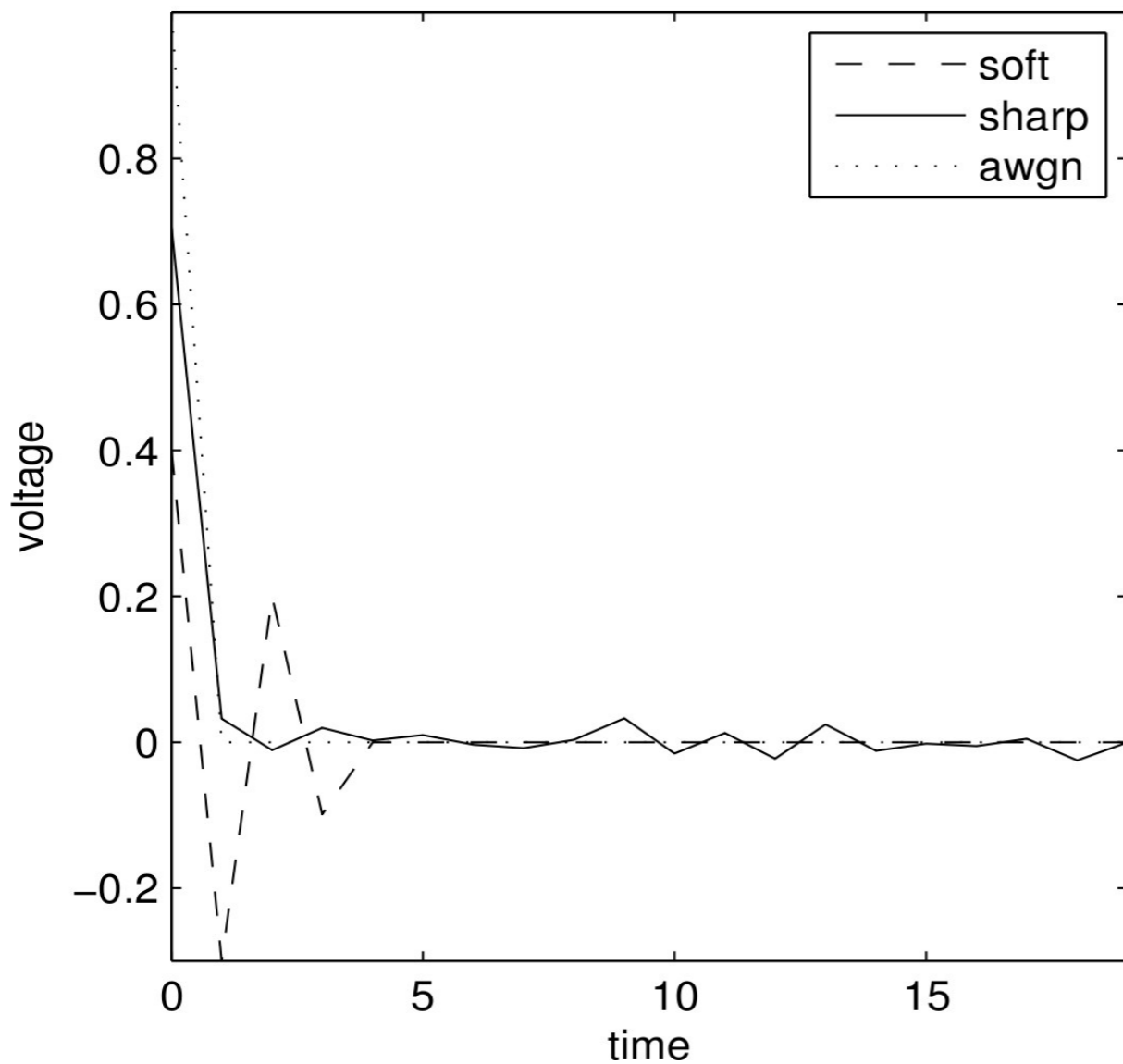
- Simulāciju rezultāti
- Akustiskā OFDM SDR projekts

GONDM ar CP un ekvalizāciju

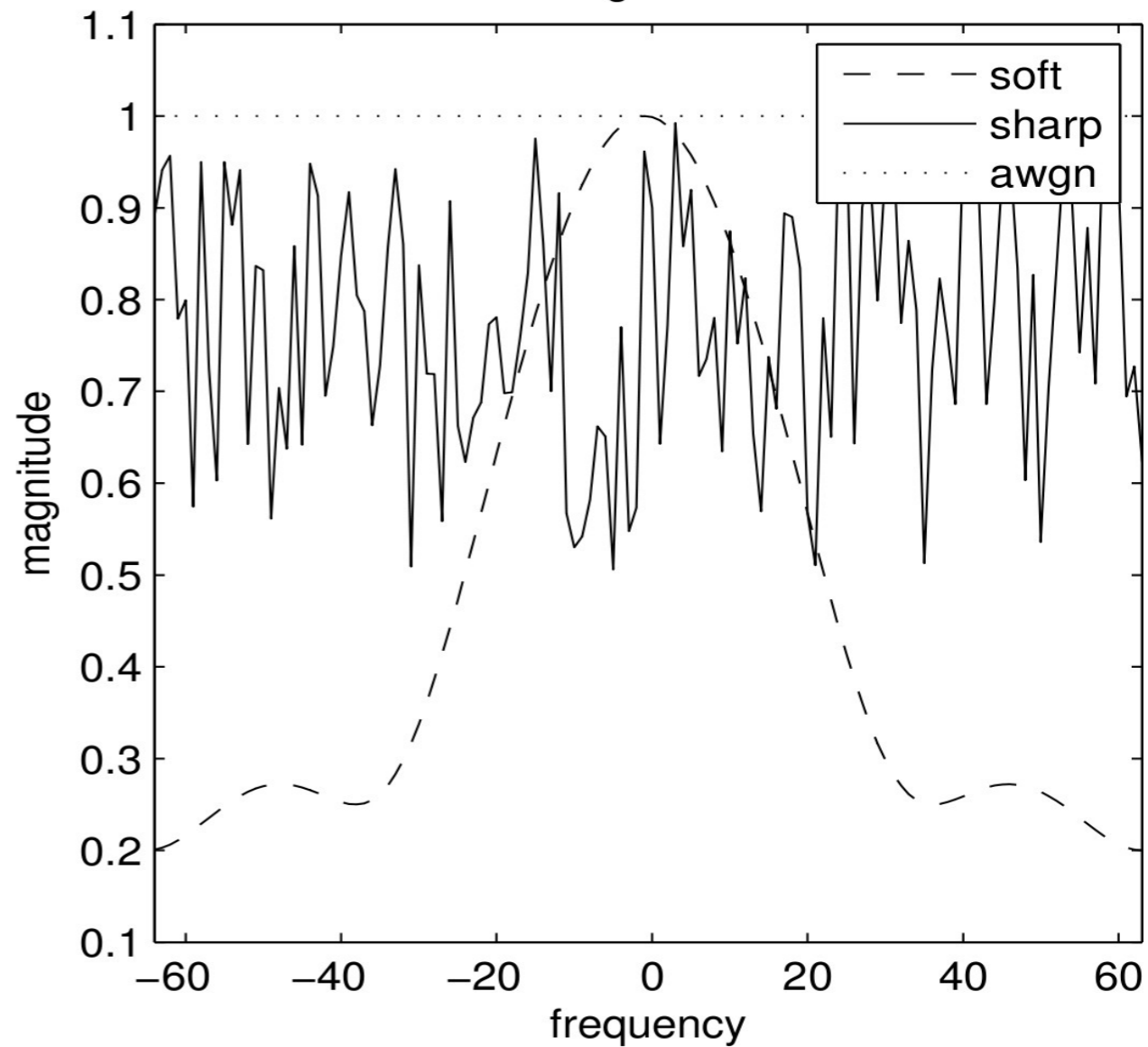


Testējamo kanālu īpašības

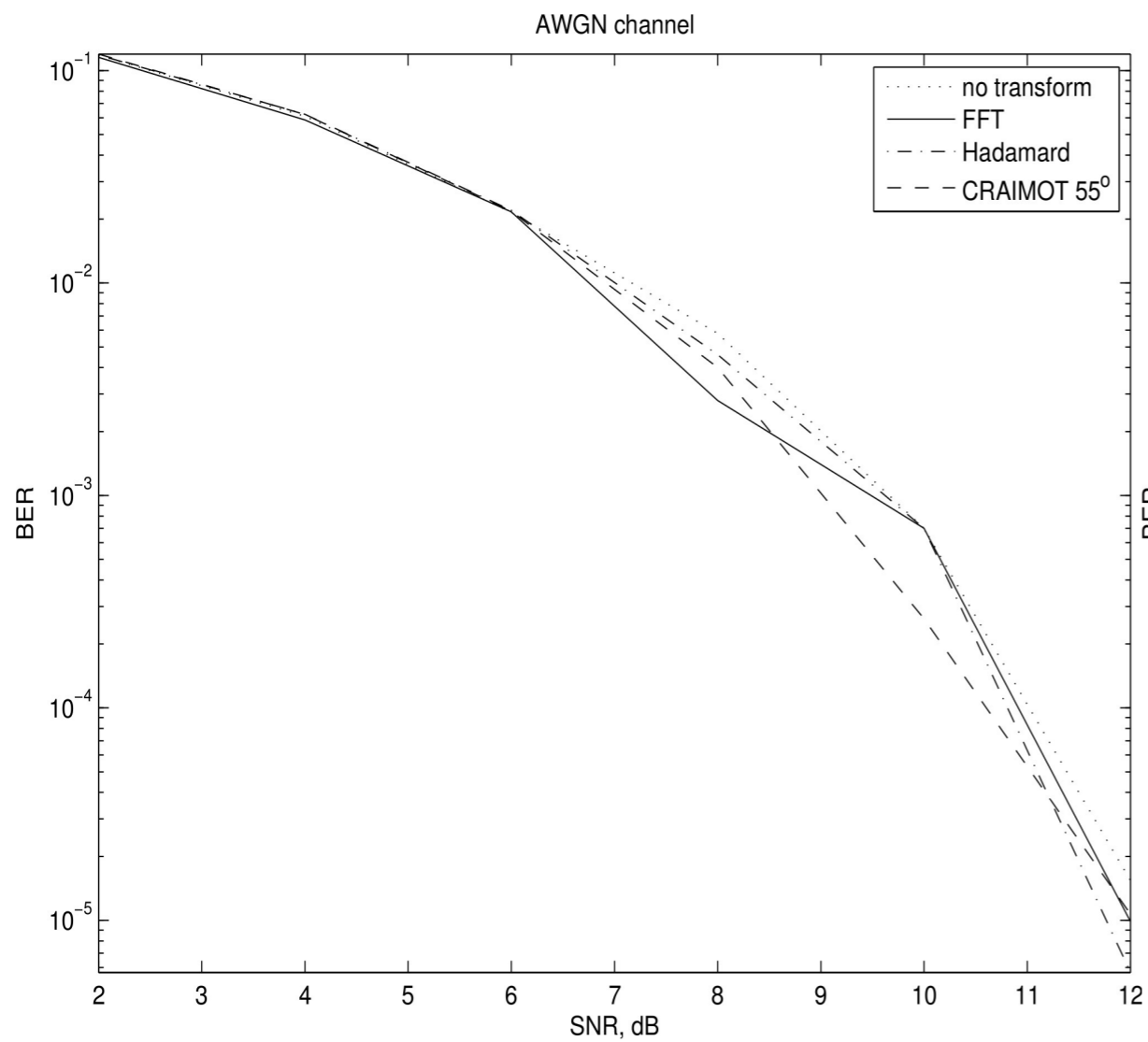
impulse response



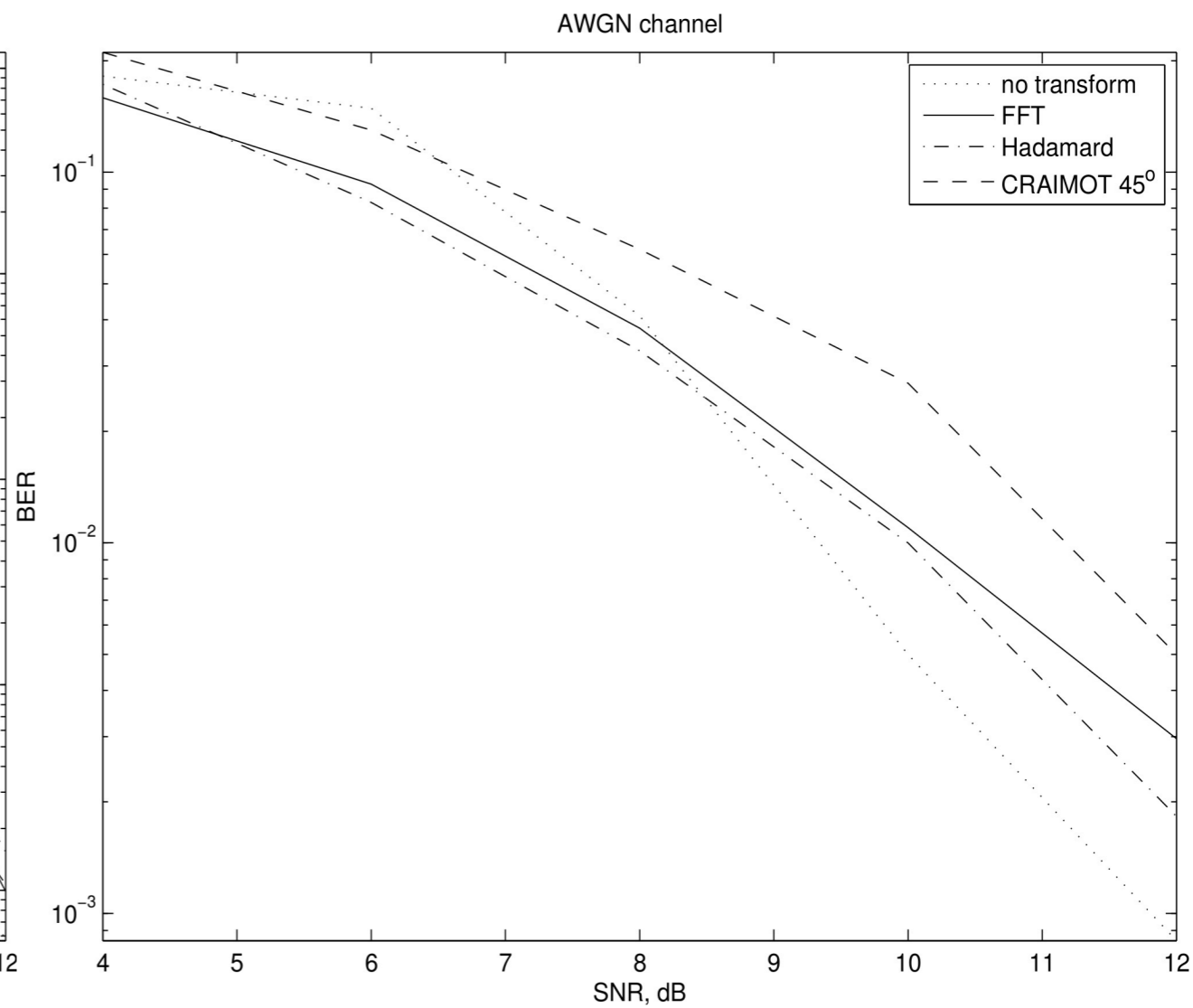
magnitude



Rezultāti: AWGN



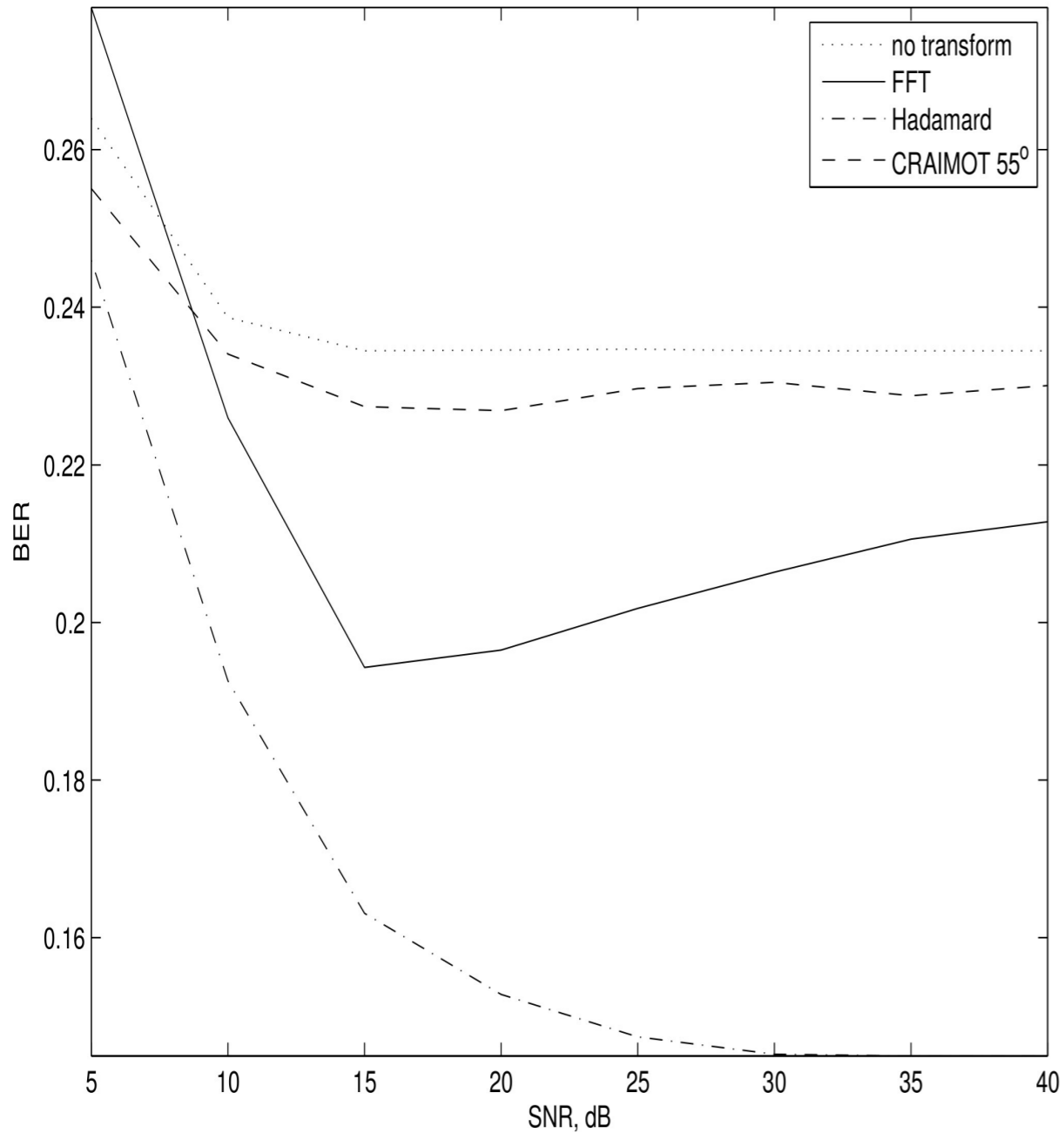
Bez ekvalizācijas



Ar ekvalizāciju

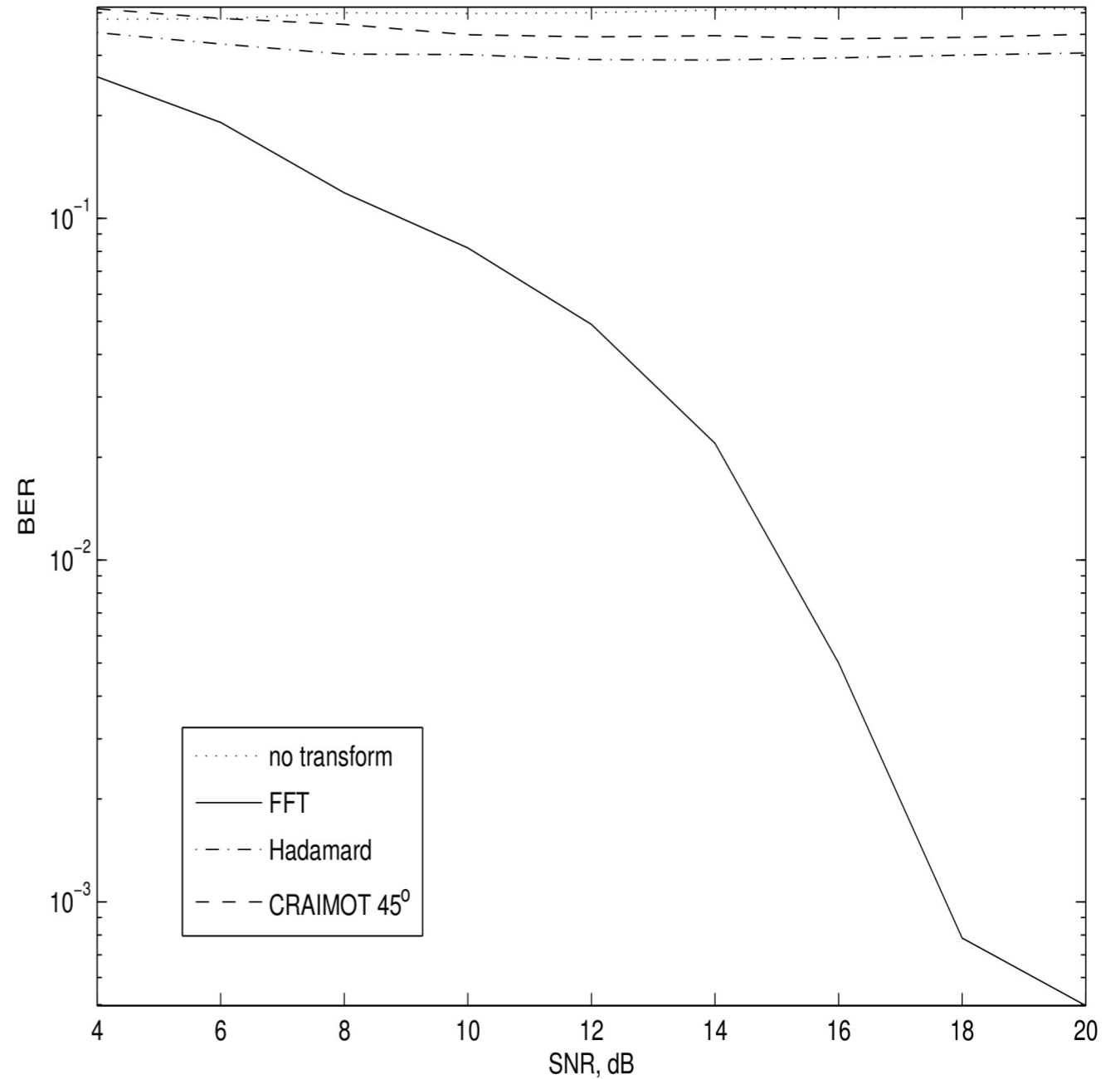
Rezultāti kanālā ar lēzenu frekvenču raksturlielni

soft frequency selective channel



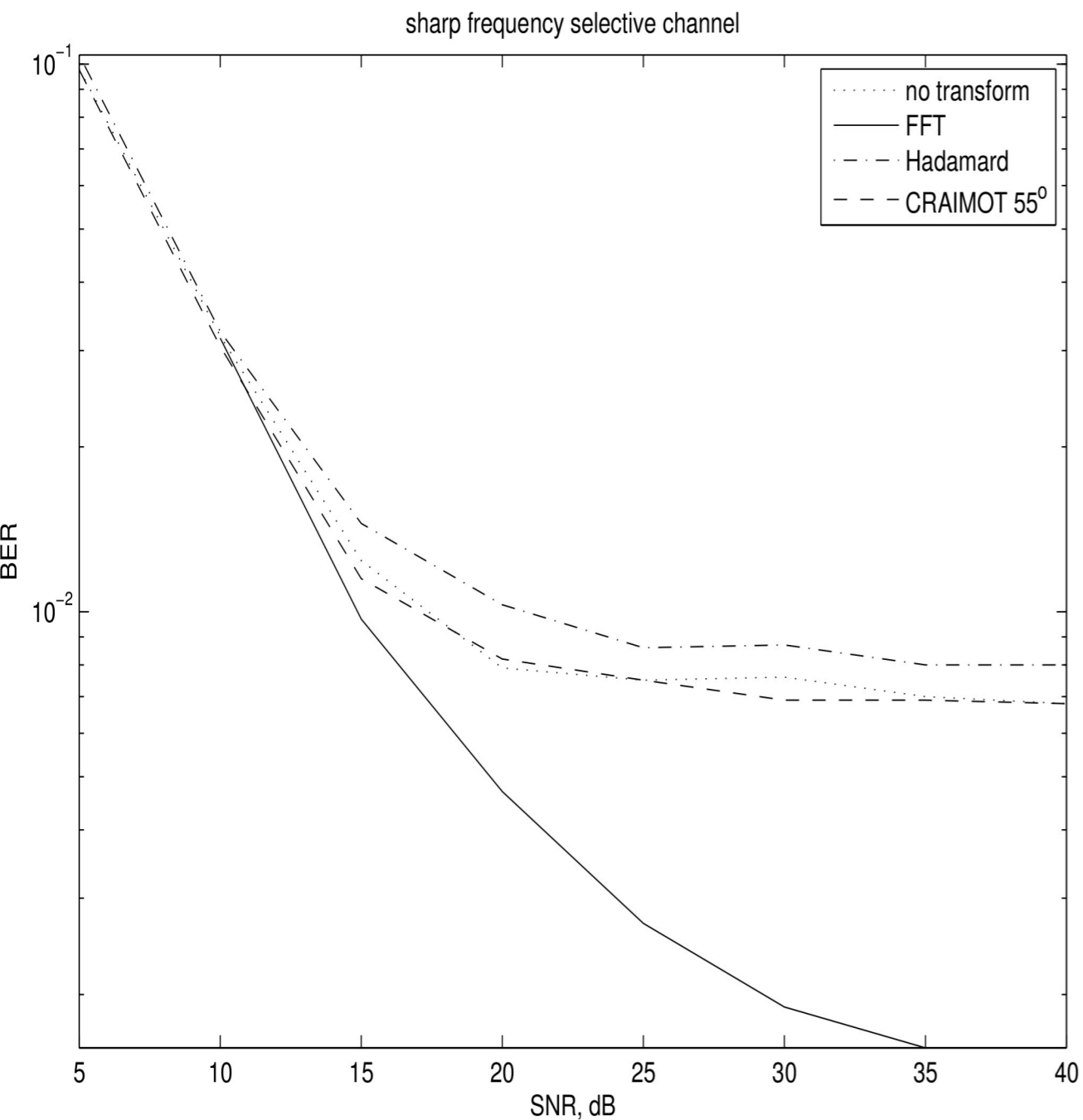
Bez ekvalizācijas

soft frequency selective channel

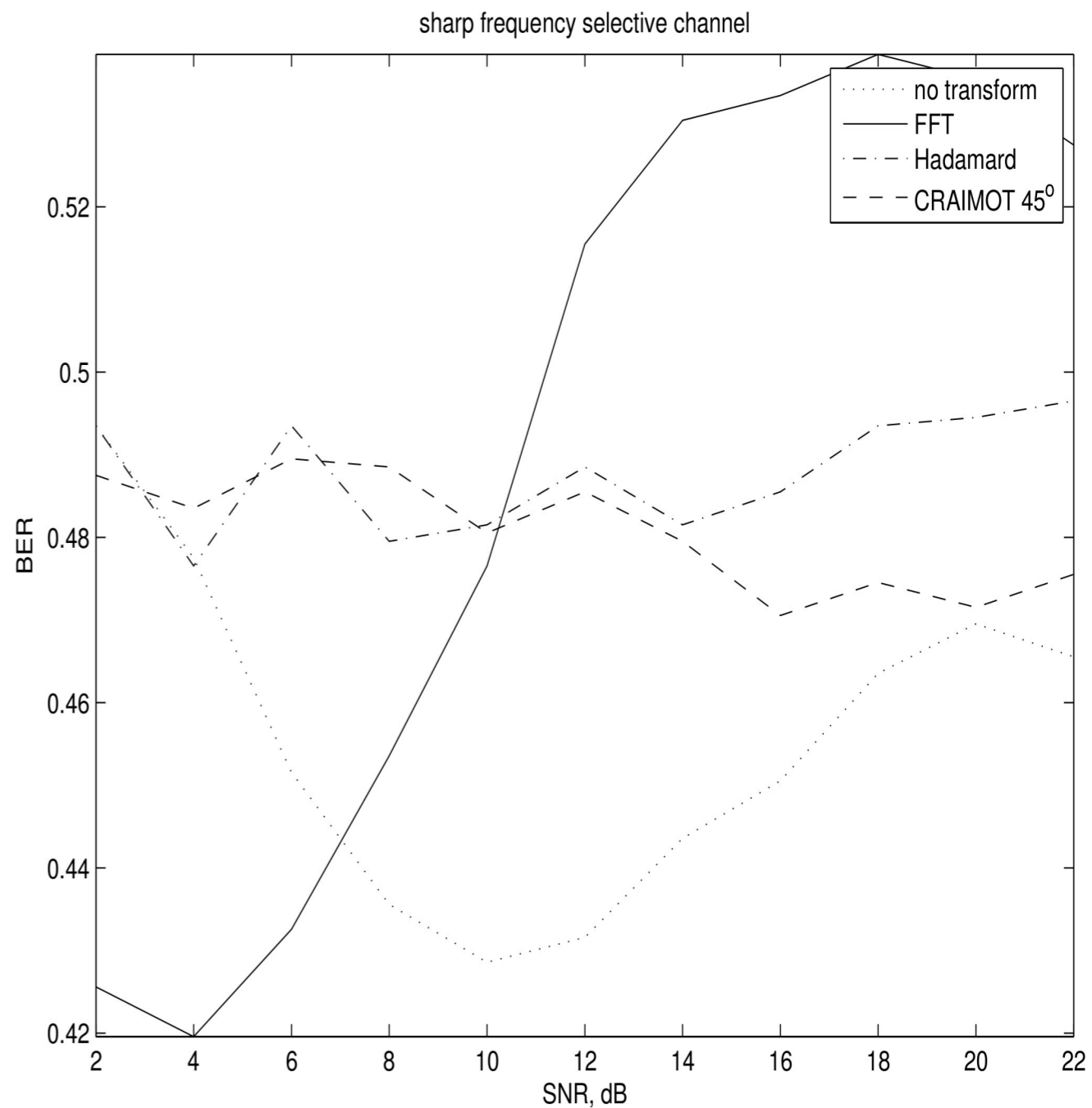


Ar ekvalizāciju

Rezultāti ar augsti nevienmērīgu frekvenču raksturlīkni



Bez ekvalizācijas



Ar ekvalizāciju

Akustiskā OFDM SDR projekts

Digital radio Mondiale (DRM)

Standarts, kas paredzēts garo, vidējo un īso viļņu diapazoniem, kas balstās uz OFDM.

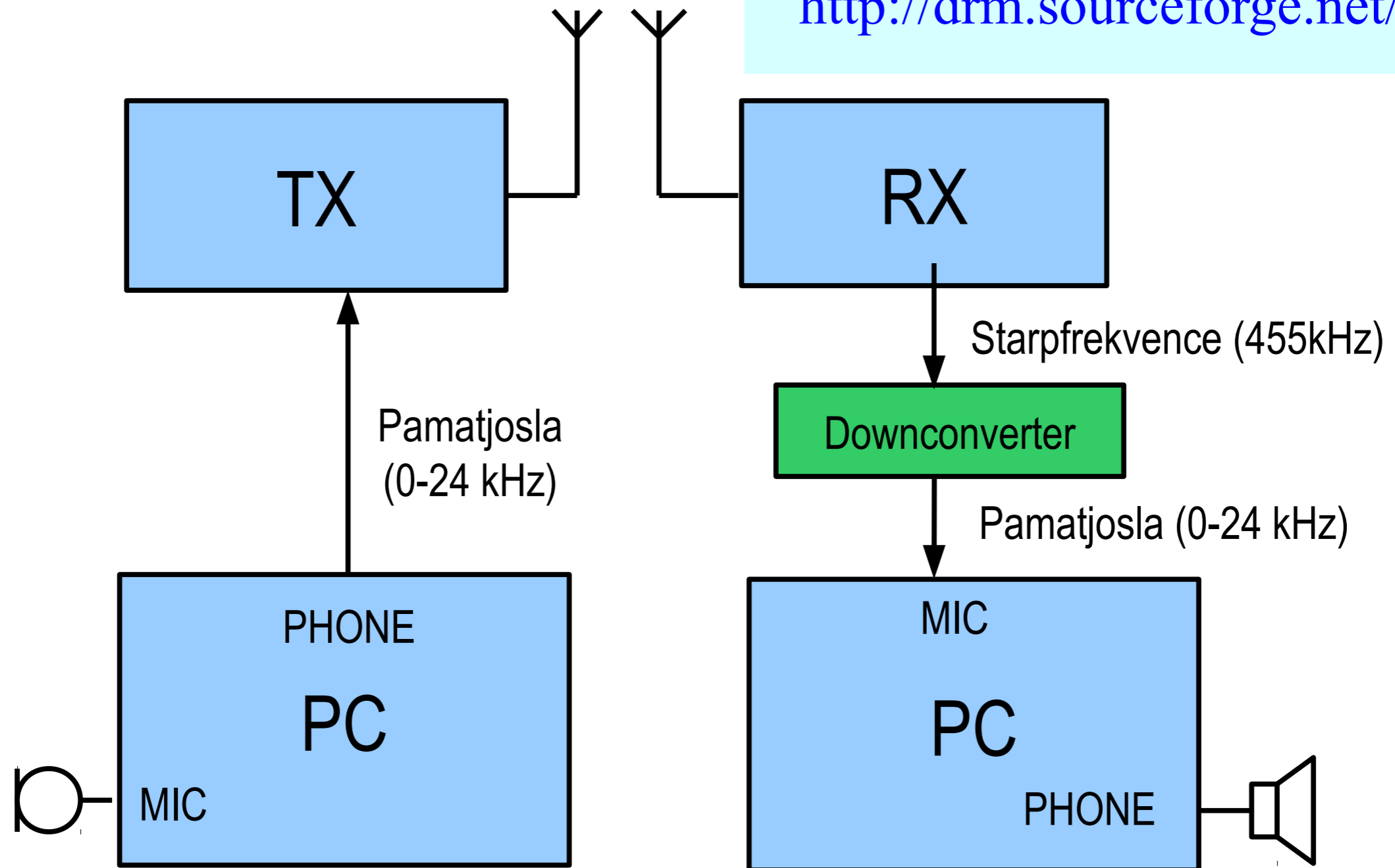
Pamatjoslas platums: 9-20 kHz

Pašlaik šajā standartā jau strādā desmitiem staciju.

Dream SDR

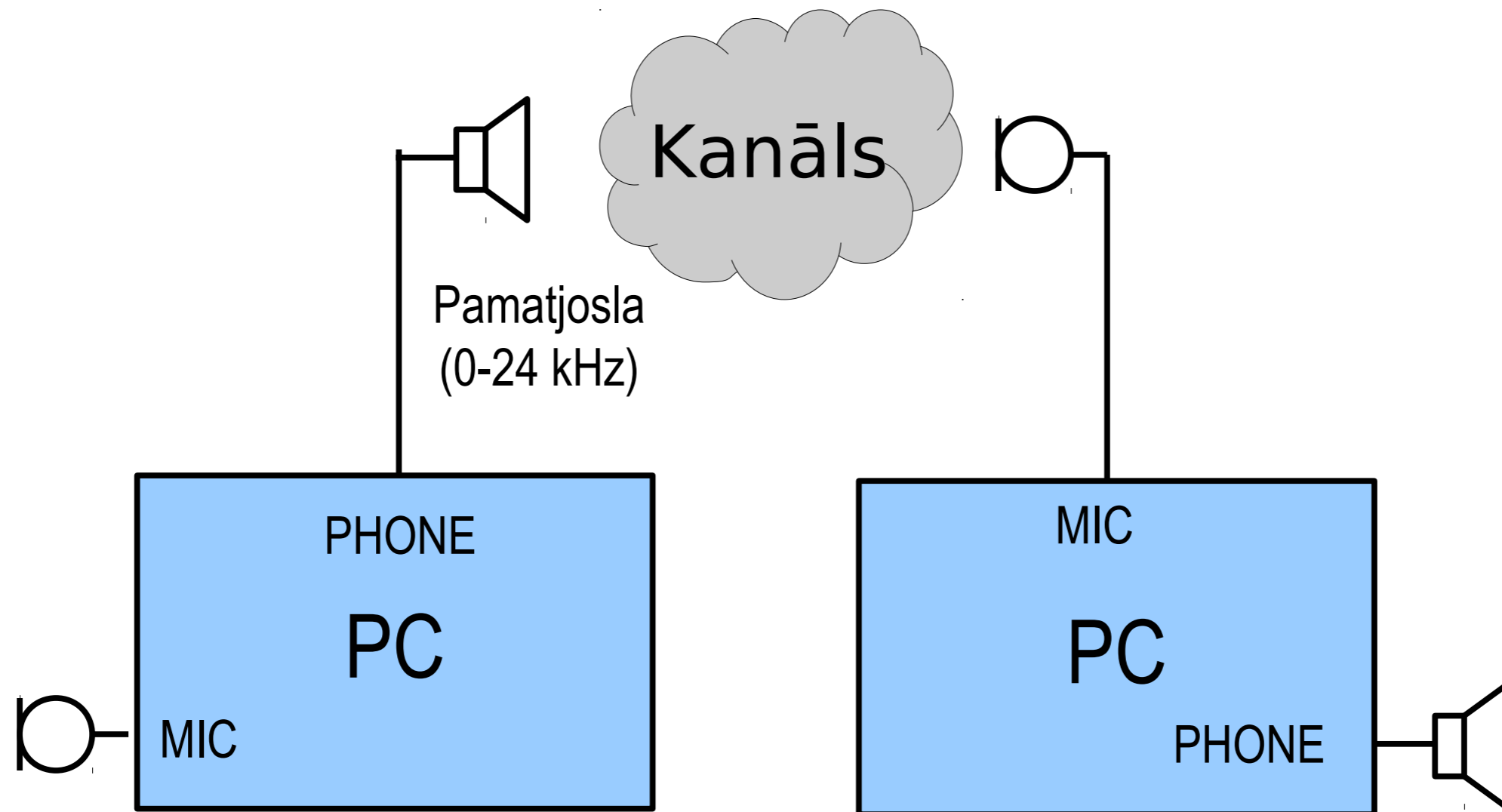
Atvērtā koda SDR (software defined radio) projekts priekš DRM:

<http://drm.sourceforge.net/>



Akustiskais SDR

Pašlaik darbojas 20 cm attālumā



SDR projekta mērķi

Pārveidojot DREAM programmatūru, izveidot vienkāršu reāla laika datu pārraides sistēmu.

Pāriet no FFT lietošanas uz leņķiskajām transformācijām

Mēģināt izveidot strādājošu zemūdens akustisko datu pārraides sistēmu

Papildus informācija

<http://isil.etf.rtu.lv>