

# 15. Traadita kohtvõrk ja hajasperktriside

Arvutivõrgud IEE1100

Ivo Mürsepp



New Lada, now with built-in  
Wifi.

# Traadita kohtvõrk

- Kohtvõrk, milles kaks või enam seadet on omavahel ühendatud kasutades füüsilise kihina raadiolaineid või valgust.
- Enamlevinud standard on IEEE 802.11 (Wi-Fi)
  - Tegemist on meediapöördust (MAC) ja füüsilist kihti kirjeldavate spetsifikatsioonidega.
- Optiline juhtmevaba side: Li-Fi
- Seadmed võivad olla ühendatud keskse juurdepääsupunktiga (*Wireless access point*) või otse omavahel (*Point to point, Ad Hoc: WANET*)



# IEEE 802.11

- Täpsemalt IEEE 802.11-1997 (*Legacy Mode*)
- Töösagedus 2,4 GHz ISM band
- Edastuskiirus 1 või 2 Mbit/s
- Veaparandus konvolutsioonilise koodiga  $k/n$
- Meediapöördus: CSMA/CA
  - IEEE 802.11 RTS/CTS
- Edastuseks kasutab kas
  - Infrapunakiirgust IR
  - Sagedushüplemist (FH-SS)
  - Sageduse (otsest) hajutamist (DS-SS)



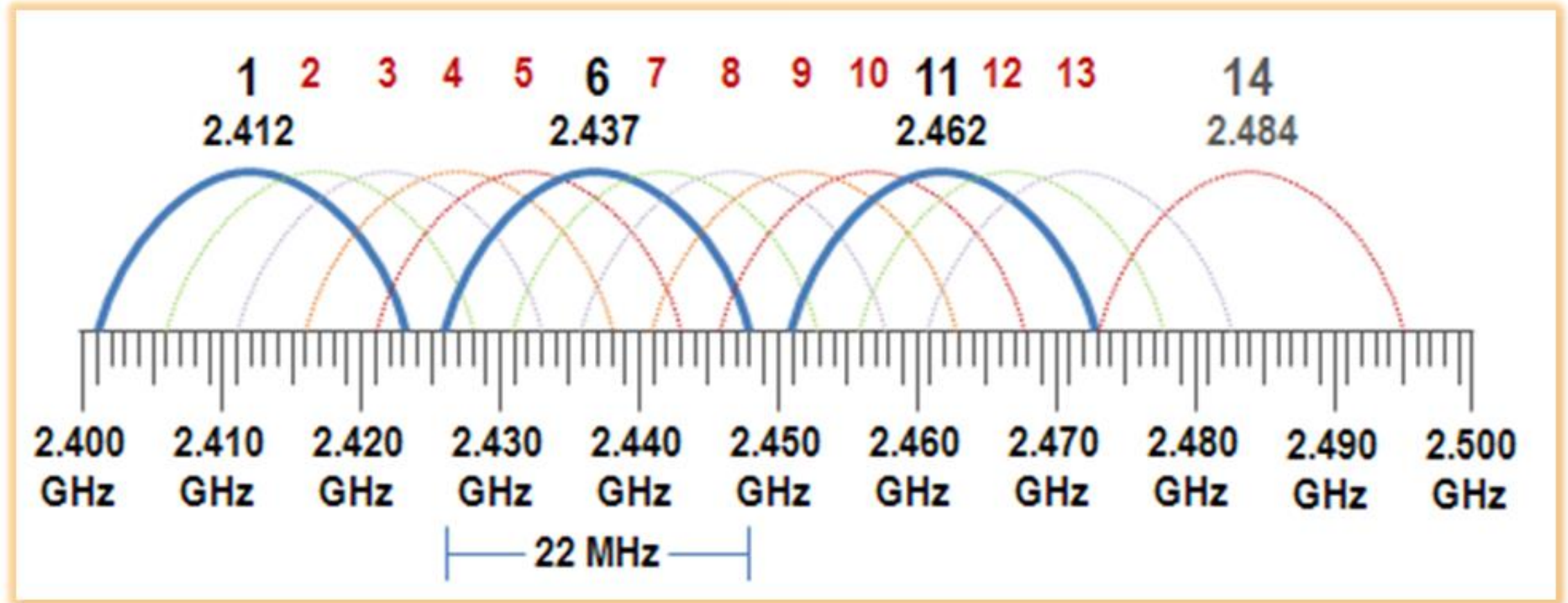
# Sagedused ja võimsused

- 2400 - 2483,5 MHz:  $EIRP \leq 100 \text{ mW}$
  - 5150 - 5350 MHz:  $EIRP \leq 200 \text{ mW}$  – ainult siseruumides
  - 5470 – 5725 MHz:  $EIRP \leq 1 \text{ W}$
- 
- $EIRP$  – Ekvivalentne isotroopne kiirgusvõimsus (*Effective Isotropic Radiated Power*)

$$EIRP = P_s \cdot G_s [W]$$

$$EIRP = P_s + G_s [dBm]$$

# 2,4 GHz kanali jaotus



# Sumbumus

- Vaba ruumi kadu

$$FSL = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

- Logaritmilistes ühikutes

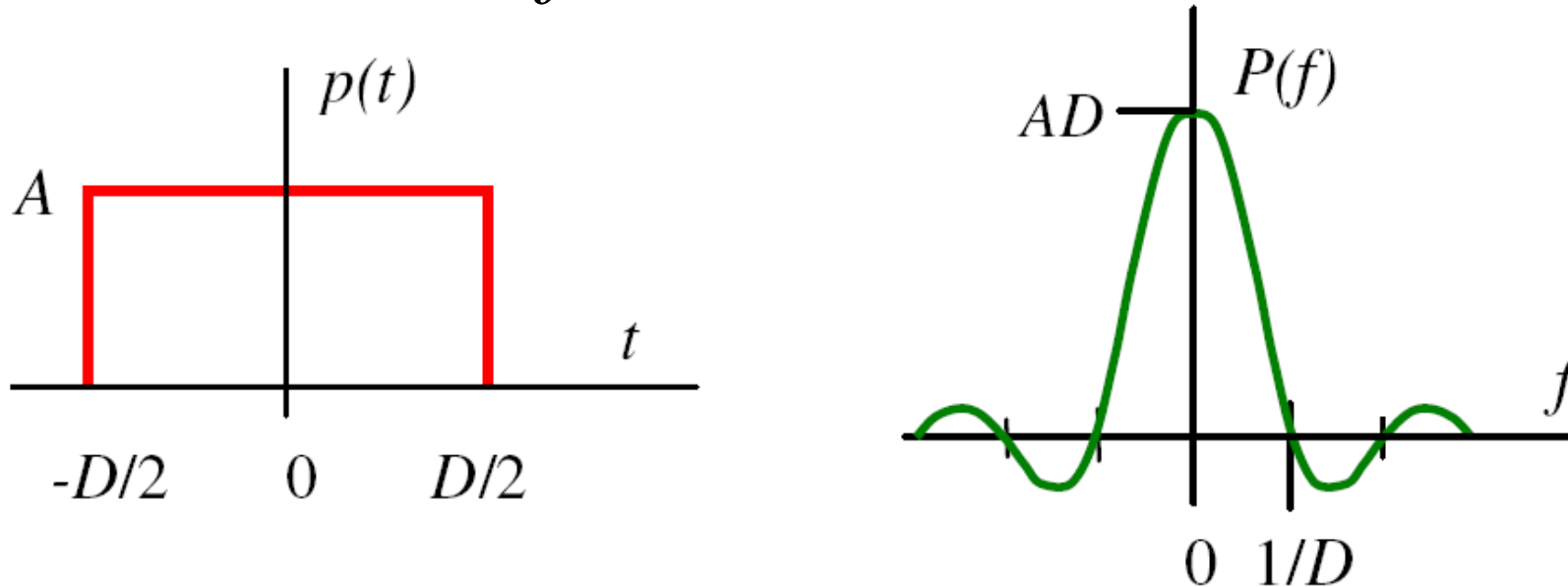
$$FSL = 20\log(d) + 20\log(f) - 147,55 [dB]$$

Sagedusala 2,4 GHz	
kaugus	Sumbuvus (dB)
100 m	80,2
200 m	86,2
500 m	94,2
1 km	100,2
2 km	106,2
5 km	114,2
10 km	120,2

# Impulssi spekter

- Nelinurkimpulss  $p(t)$  kestusega  $D$  sekundit omab spektrit:

$$S(f) = \frac{A}{\pi f} \sin(\pi f D) = AD \operatorname{sinc}(\pi f D)$$





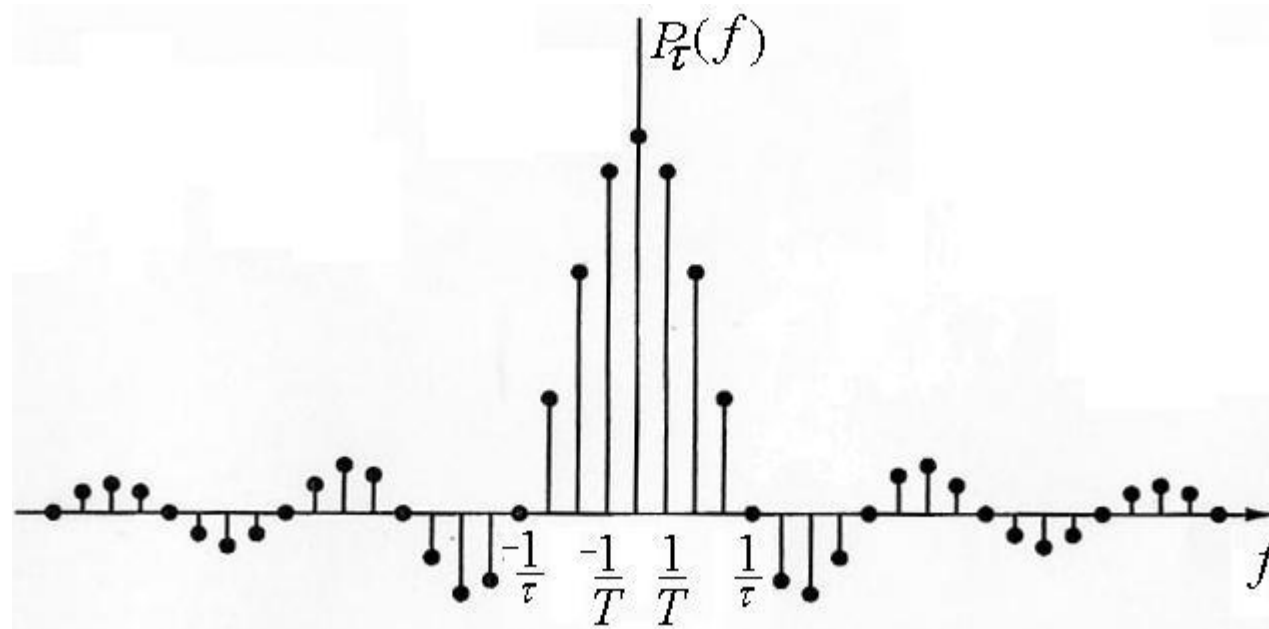
# Piiratud spektriga impulss



Traadita kohtvõrk ja hajaspektriside

# Impulssjada spekter

- Perioodilise signaali  $p_\tau(t)$  spekter  $P_\tau(f)$  on diskreetne:
  - Spektrijoonte samm  $\Delta f$  on määratud impulssjada perioodiga  $T$
  - Sinc funktsiooni kujulise mähkija periood on määratud impulsside kestusega  $\tau$



Traadita kohtvõrk ja hajaspektriseide

Joonis: <http://www.ee.bgu.ac.il>

# Signaalide võrdlemine

- Ristkorrelatsioon

$$R_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)g(t + \tau)dt$$

- Autokorrelatsioon

$$R_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)f(t + \tau)dt$$

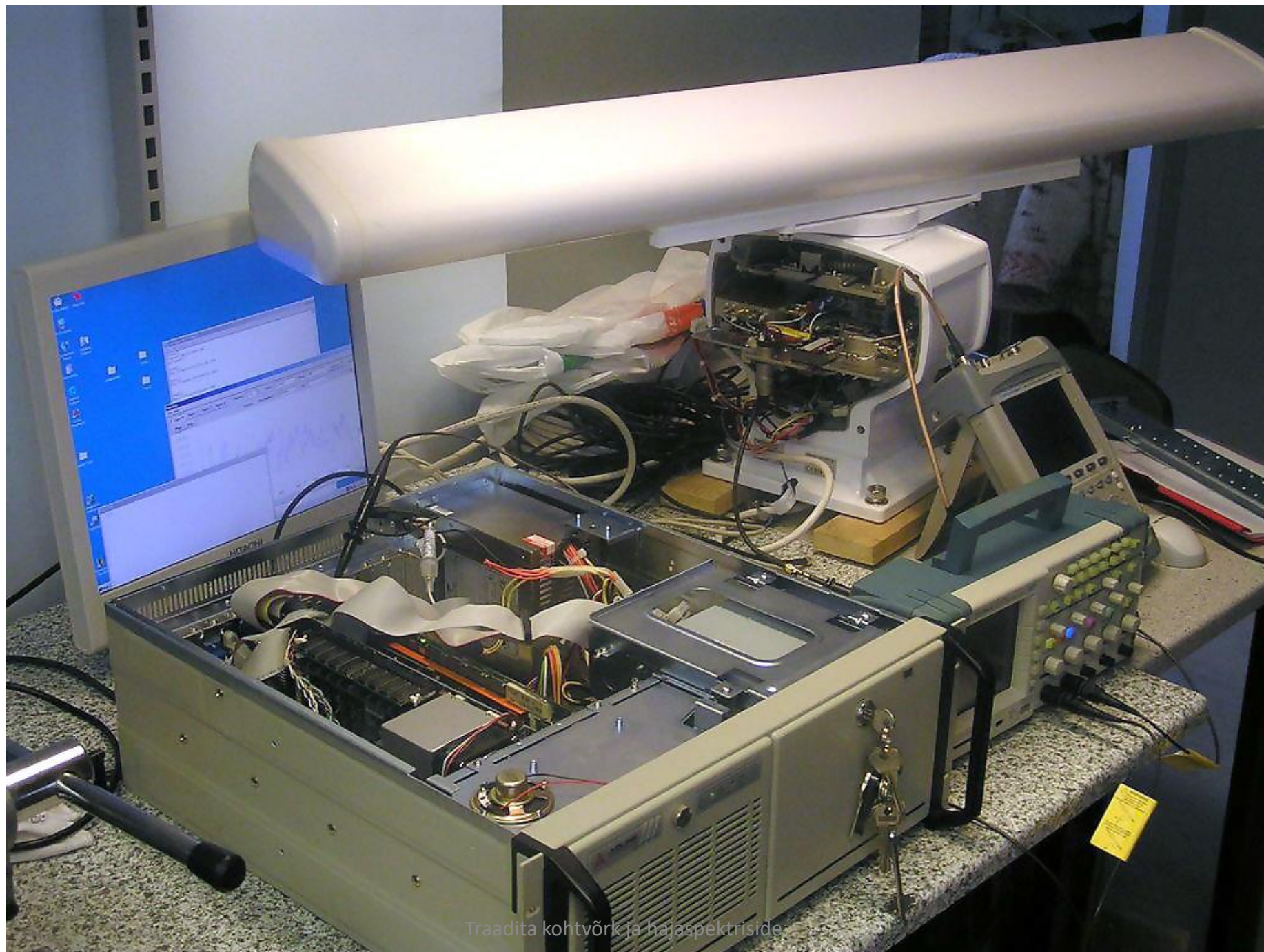
- Diskreetsel juhul

$$R_{fg}(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m]g[n + m]$$

# Barkeri koodid.

Pikkus	Kood
2	1 -1 ; 1 1
3	1 1 -1
4	1 1 -1 1; 1 1 1 -1
5	1 1 1 -1 1
7	1 1 1 -1 -1 1 -1
11	1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1
13	1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1

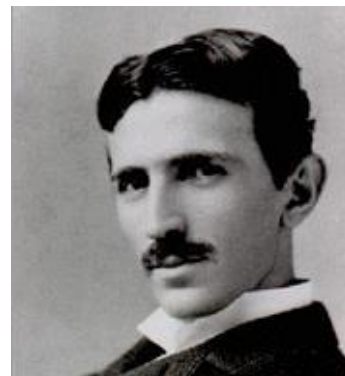




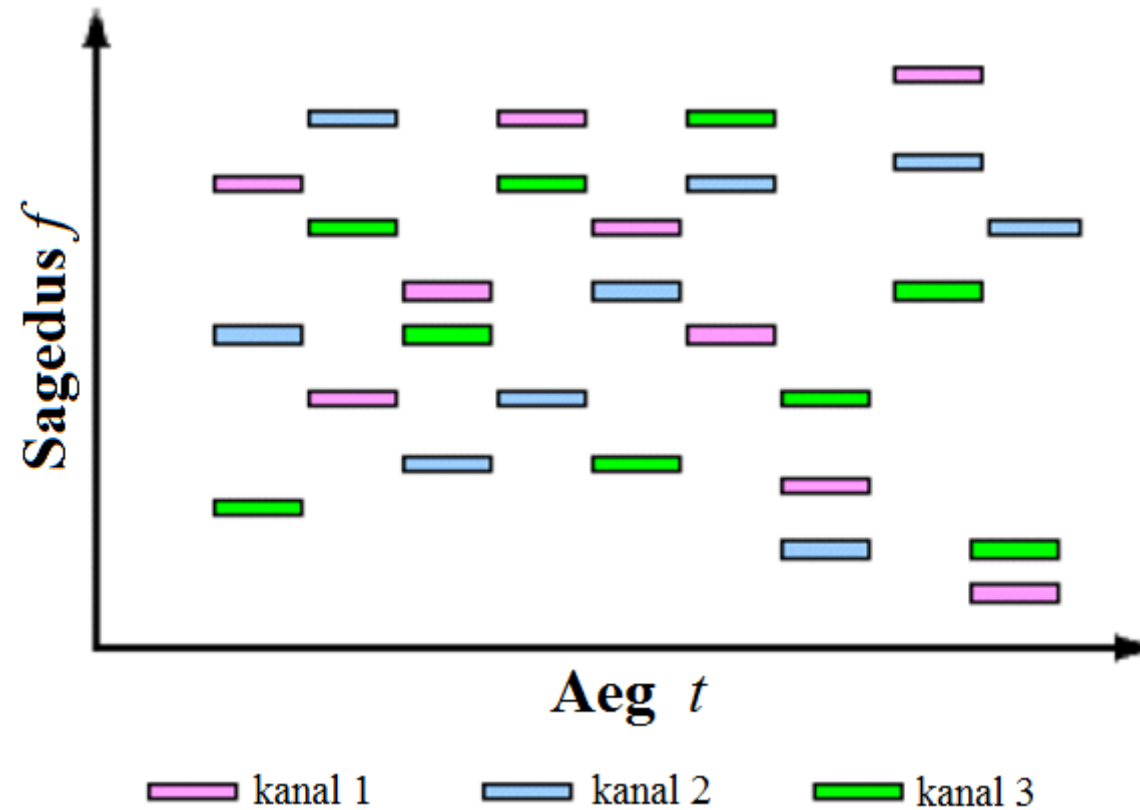
Traadita kohtvõrk ja hajaspektrisiside

# Sagedushüplemine *FHSS*

- Sagedushüplemist mainiti esmakordselt 1900 aastal **Nikolai Tesla** poolt võetud patendi 725,605 kirjelduses. Idee pärineb 1898 aastal toimunud maailma esimese raadio teel juhitava allveelaeva demonstratsioonilt.
- 1942 aastal **Heddy Lamarr** ja **Georg Antheili** patent nr 2,292,387 raadio teel juhitava torpeedole.



# Sagedushüplemine $FH$ -SS





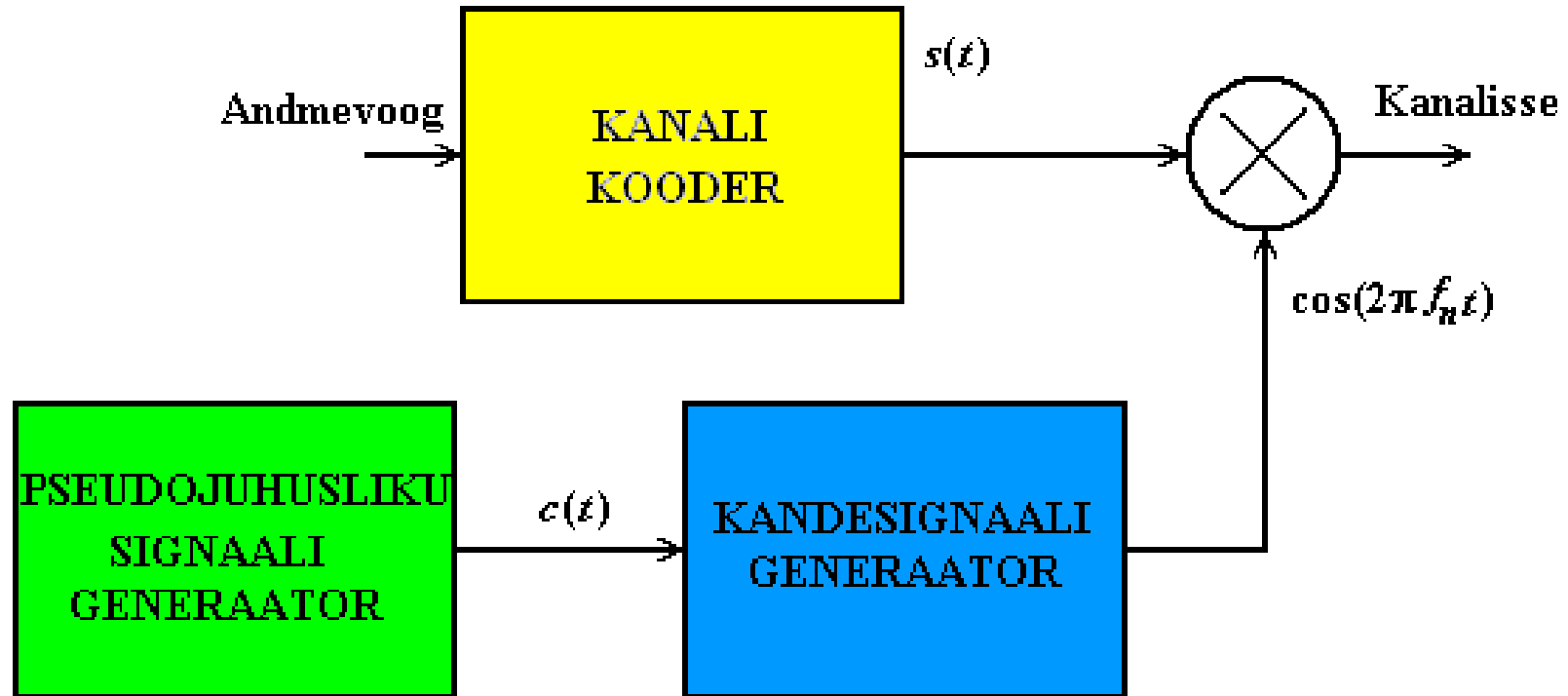
# Sagedushüplemine



Traadita kohtvõrk ja hajaspektriside

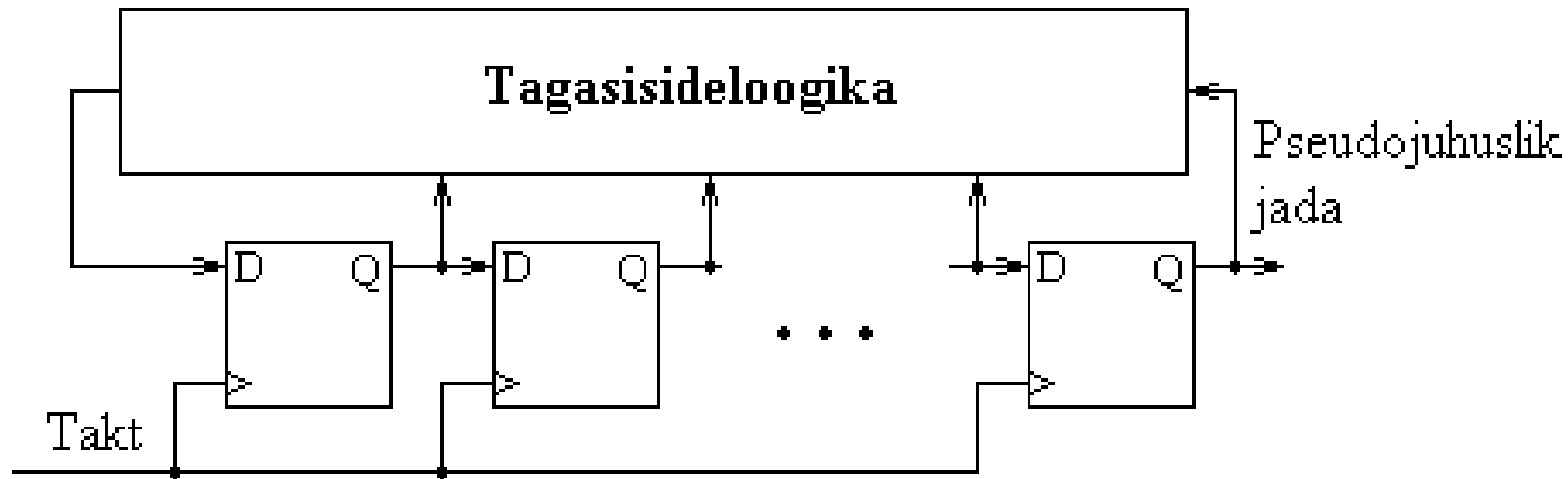


# Sagedushüplemine *FH-SS*

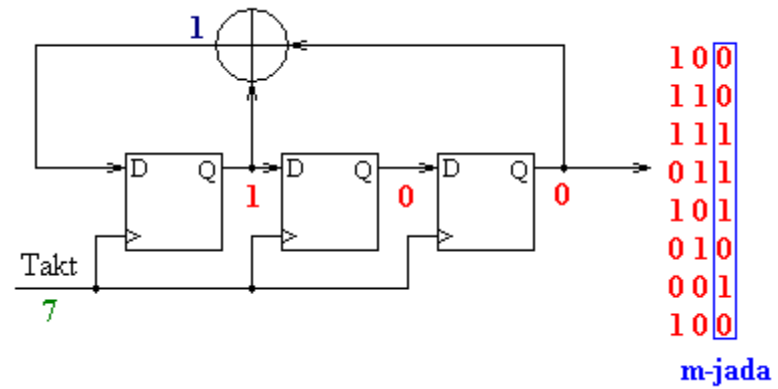


# Pseudojuhuslik jada

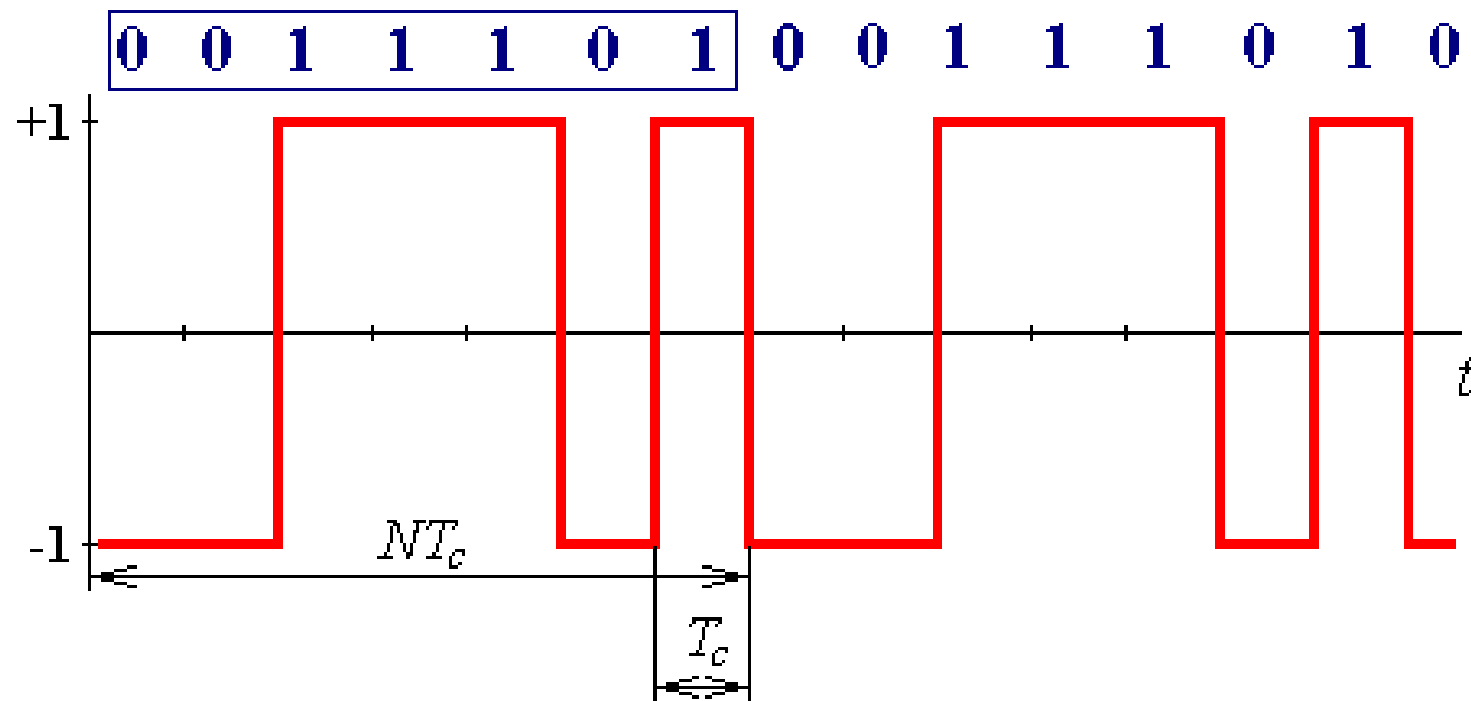
- Binaarne, statistiliselt sarnane juhuslikule jadale (mürataoline)
- Tegelik tekkeprotsess deterministlik, jada seega perioodiline
- M-jada: maksimaalse pikkusega  $N = 2^n - 1$
- Tekitatakse tagasisidestatud nihkeregistriga (pikkus  $n$ )



# M-jada genereerimine



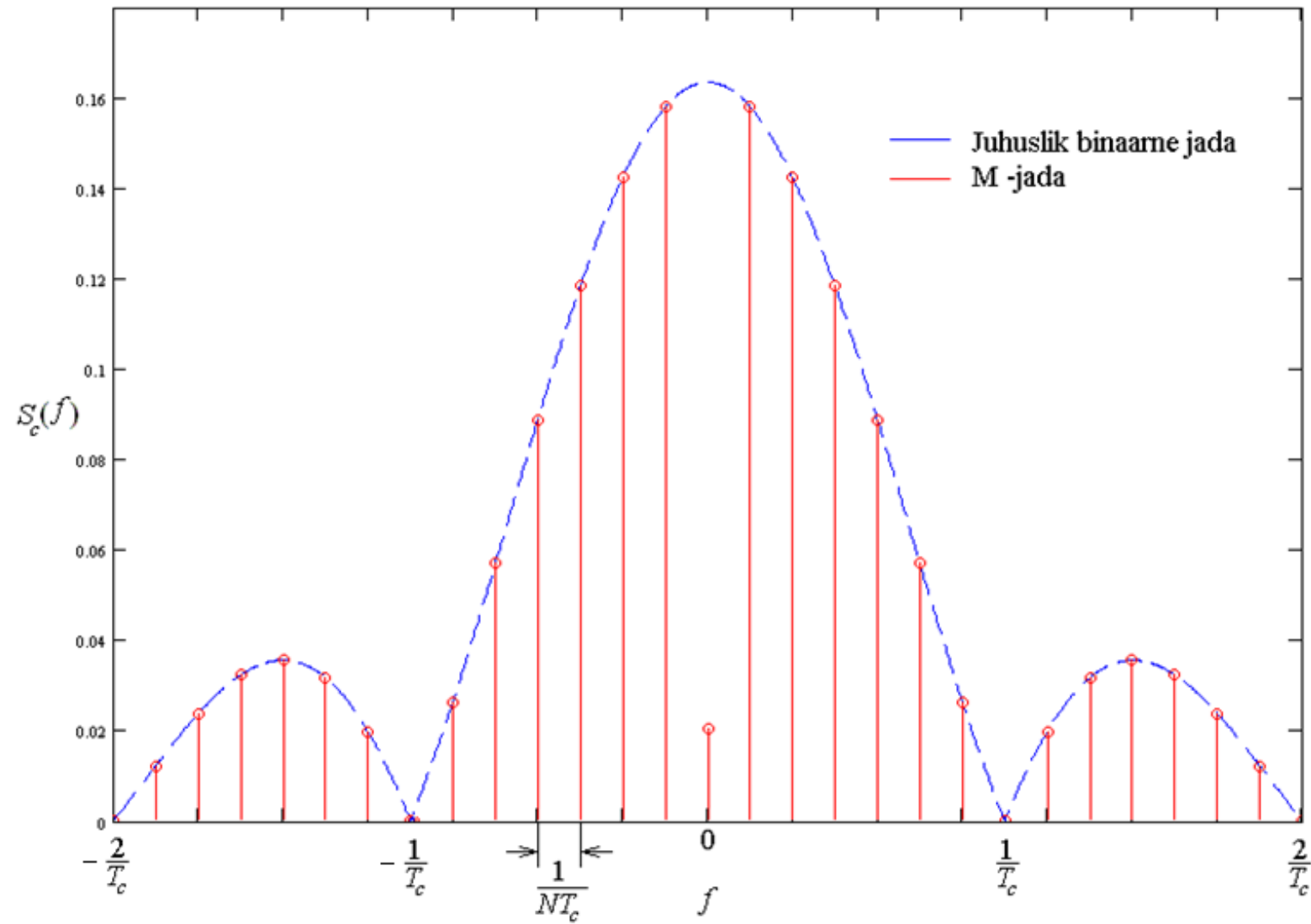
# M-jada



# M-jada valimine

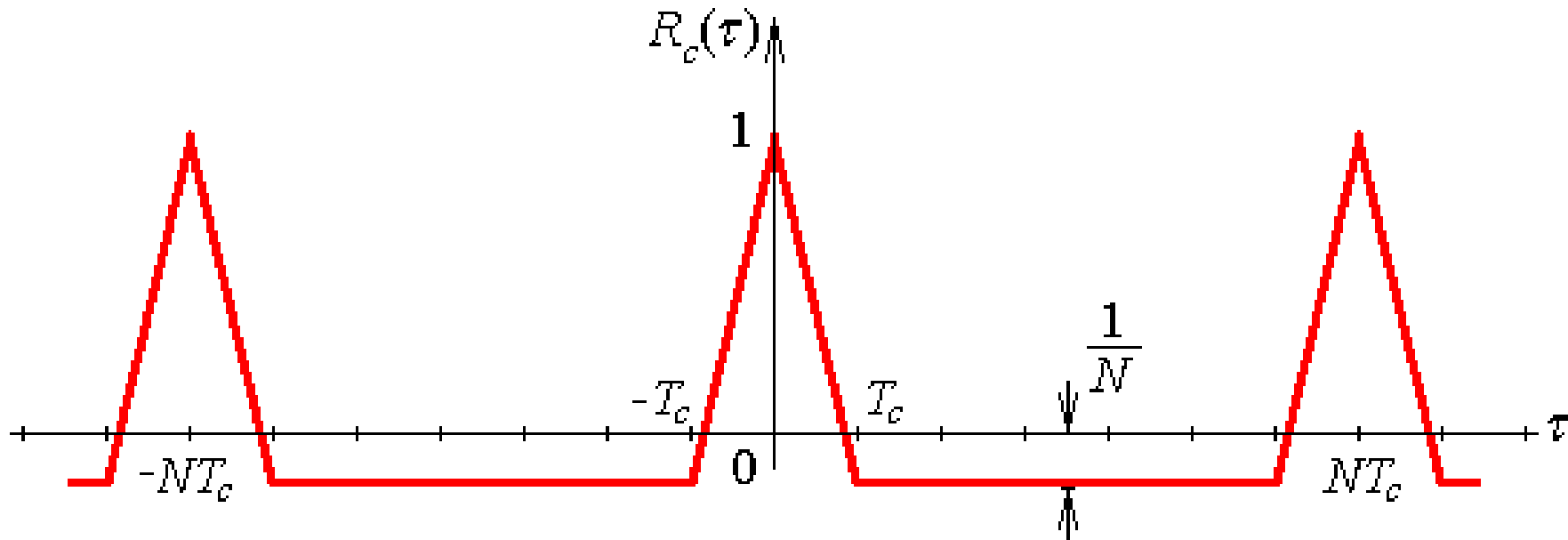
$n$	Tagasiside väljunditest
2	[2,1]
3	[3,1]
4	[4,1]
5	[5,2], [5,4,3,2],[5,4,2,1]
6	[6,1], [6,5,2,1],[6,5,3,2]
7	[7,1], [7,3],[7,3,2,1], [7,4,3,2],[7,6,4,2], [7,6,3,1],[7,6,5,2],[7,6,5,4,2,1], [7,5,4,3,2,1]

# M-jada spekter

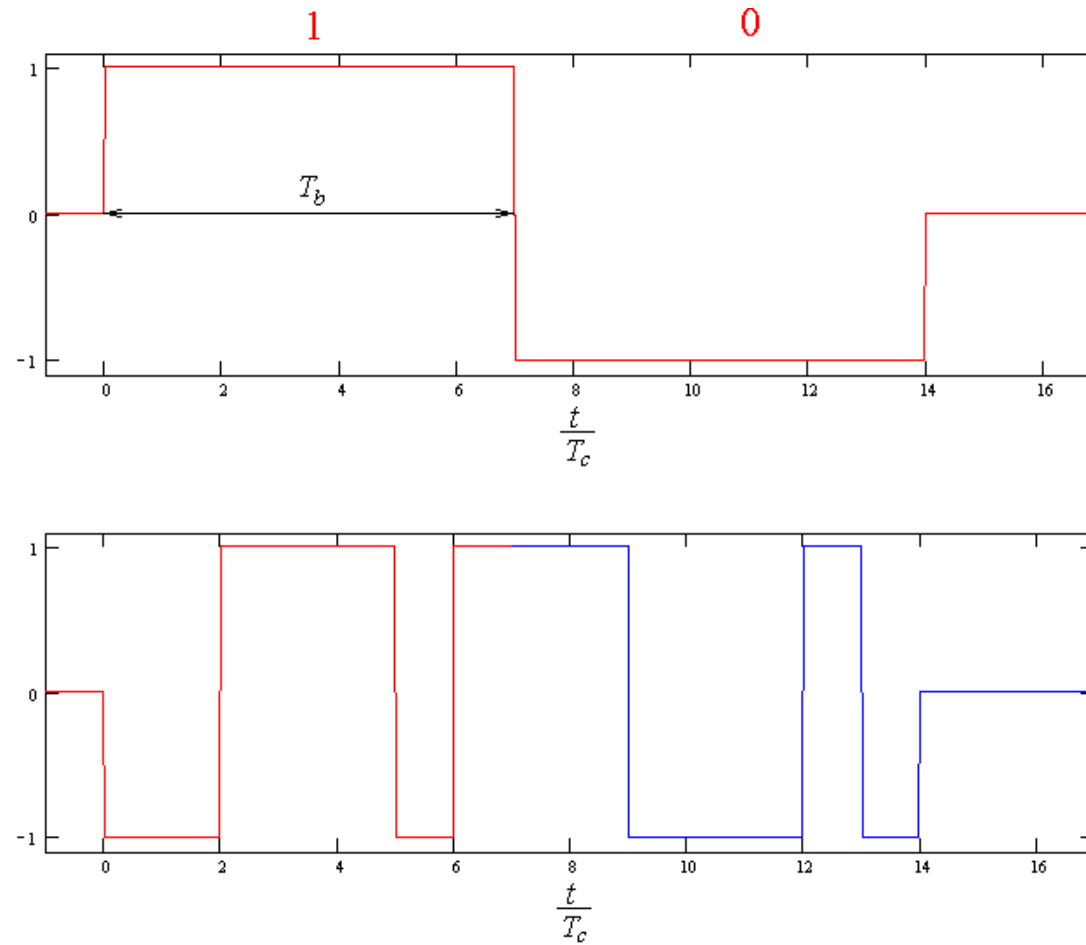


# M-jada autokorrelatsioonifunktsioon

$$R_c(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{N+1}{NT_c}|\tau|, & |\tau| \leq T_c \\ -\frac{1}{N} & \text{elsewhere} \end{cases}$$

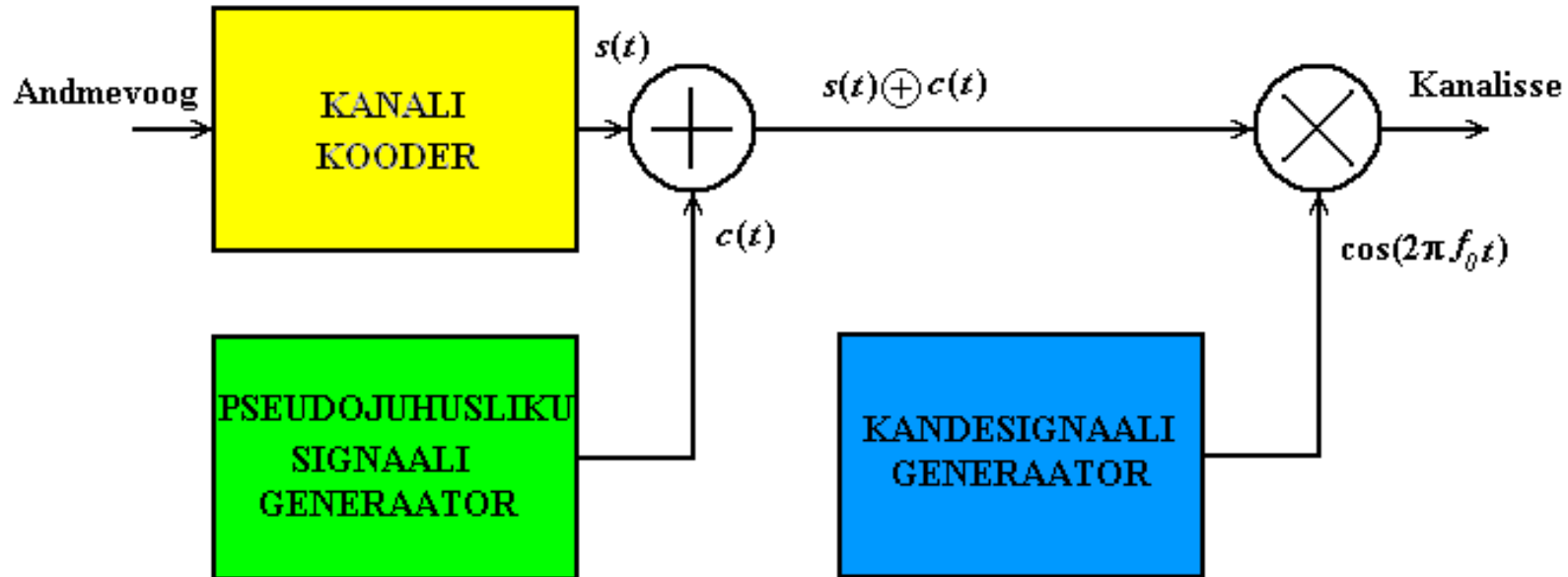


# Sageduse hajutamine $DS-SS$

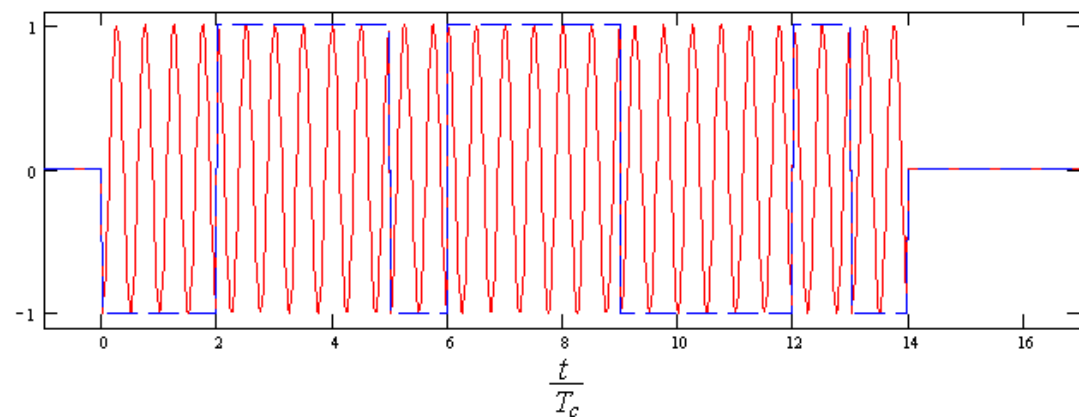
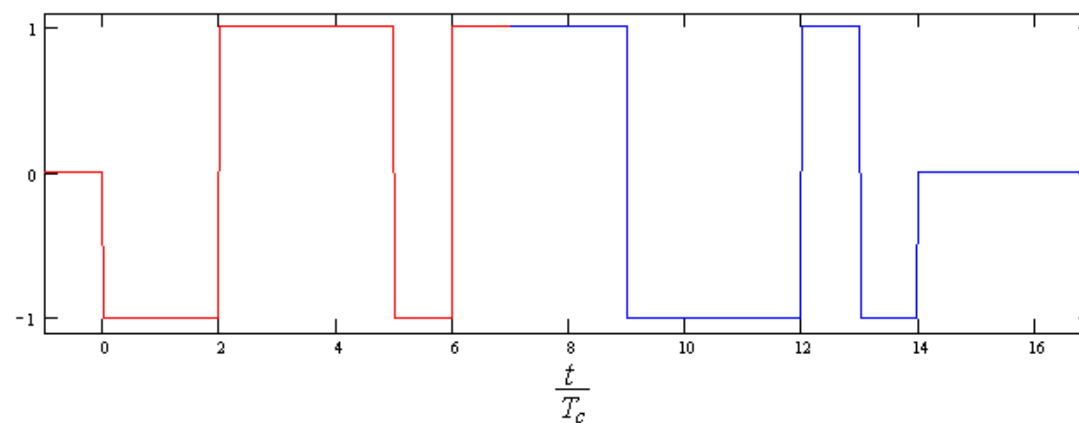




# Sageduse hajutamine *DS-SS*



# Sageduse hajutamine $DS-SS$

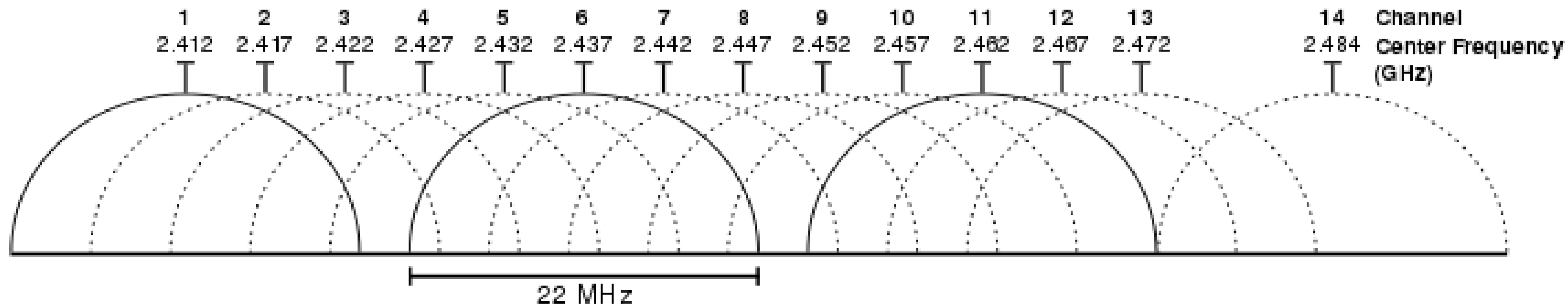


# IEEE 802.11b

- Edastuskiirus kuni 11 Mbit/s
  - 5,9 Mbit/s (TCP)
  - 7,1 Mbit/s (UDP)
- Töösagedus 2,4 GHz
- Hajutamine Barkeri koodiga
  - + Suurem edastuskiirus
  - -vähenenud töökaugus ja häirekindlus



# 2,4 GHz kanalid



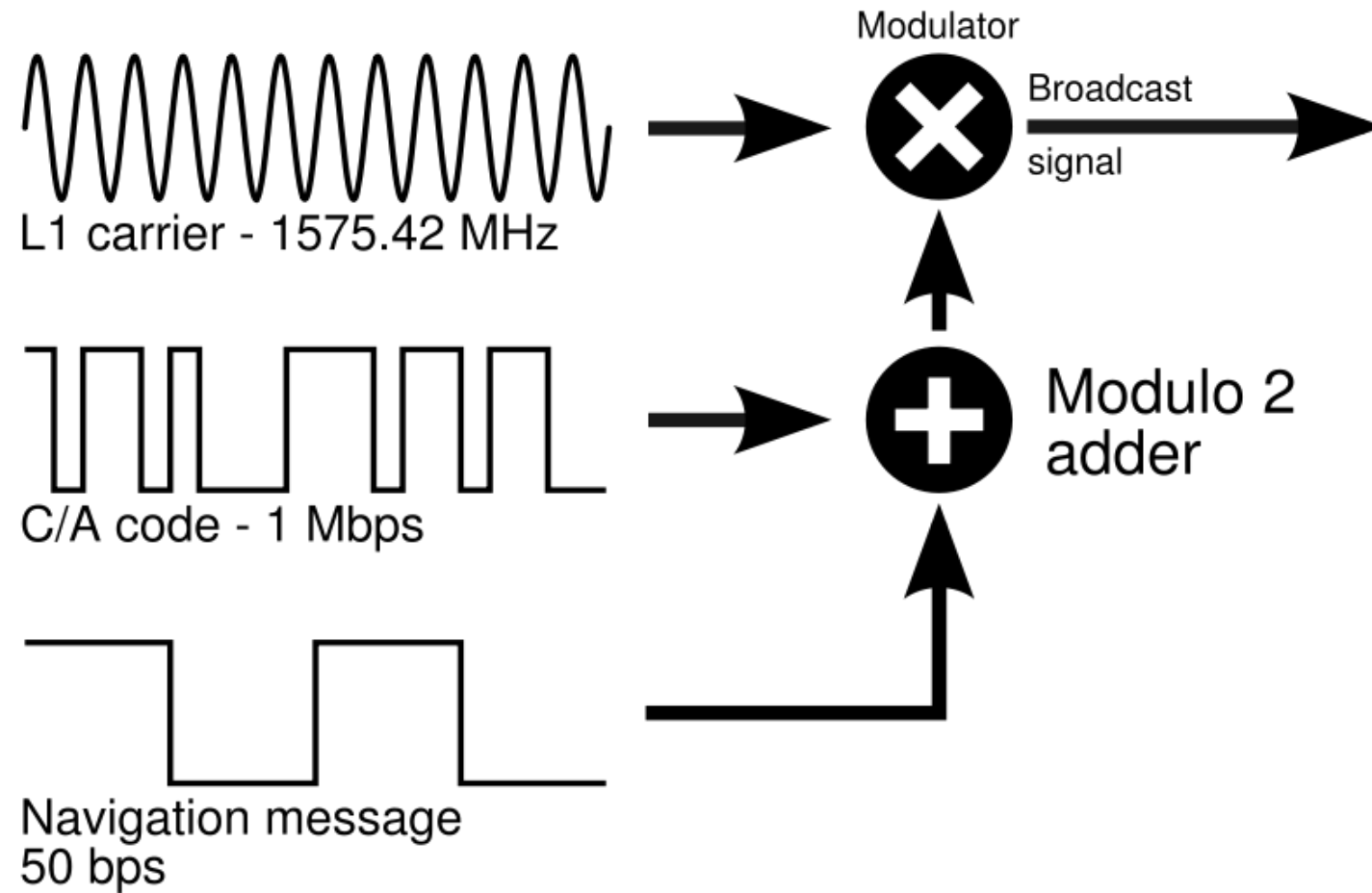
# GPS – Global Positioning System

- Sateliidid edastavad signaale kahel sagedusel:
  - L1 1,57542 GHz ja
  - L2 1,2276 GHz
- Signaalide eristamine CDMA meetodil.
- Moduleerimiseks kasutatakse Goldi koodi.
- Avaliku C/A koodi edastatakse kiirusega 1,023 miljonit sümbolit sekundis.
- Täpset koodi P edastatakse kiirusega 10,23 miljonit sümbolit sekundis
- Täpset koodi on võimalik krüpteerida P(Y)

# Näide: GPS II

- Kanal **L1** on moduleeritud **C/A** ja **P** koodiga. Kanal **L2** ainult **P** koodiga.
- Informatsiooni ülekandekiirus **50 bit/s**.
- Kasutatakse Goldi koodi pikkusega 1023 elementi 1ms jooksul.
- Võimalike Goldi koodi pikkusega **1023** on **1025**, kasutatakse ainult **32** neist.

# GPS signaali moduleerimine

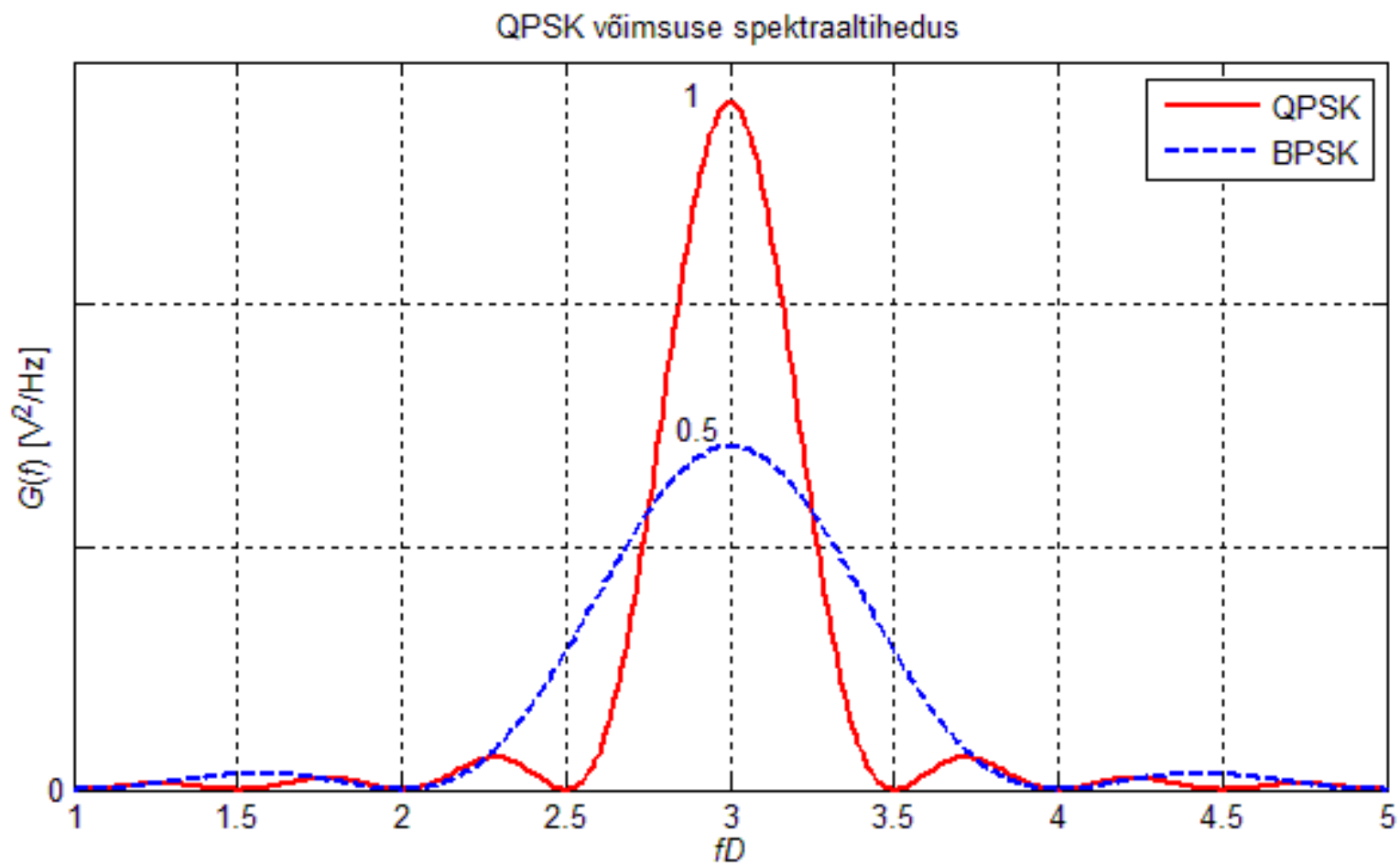


# IEEE 802.11a/g

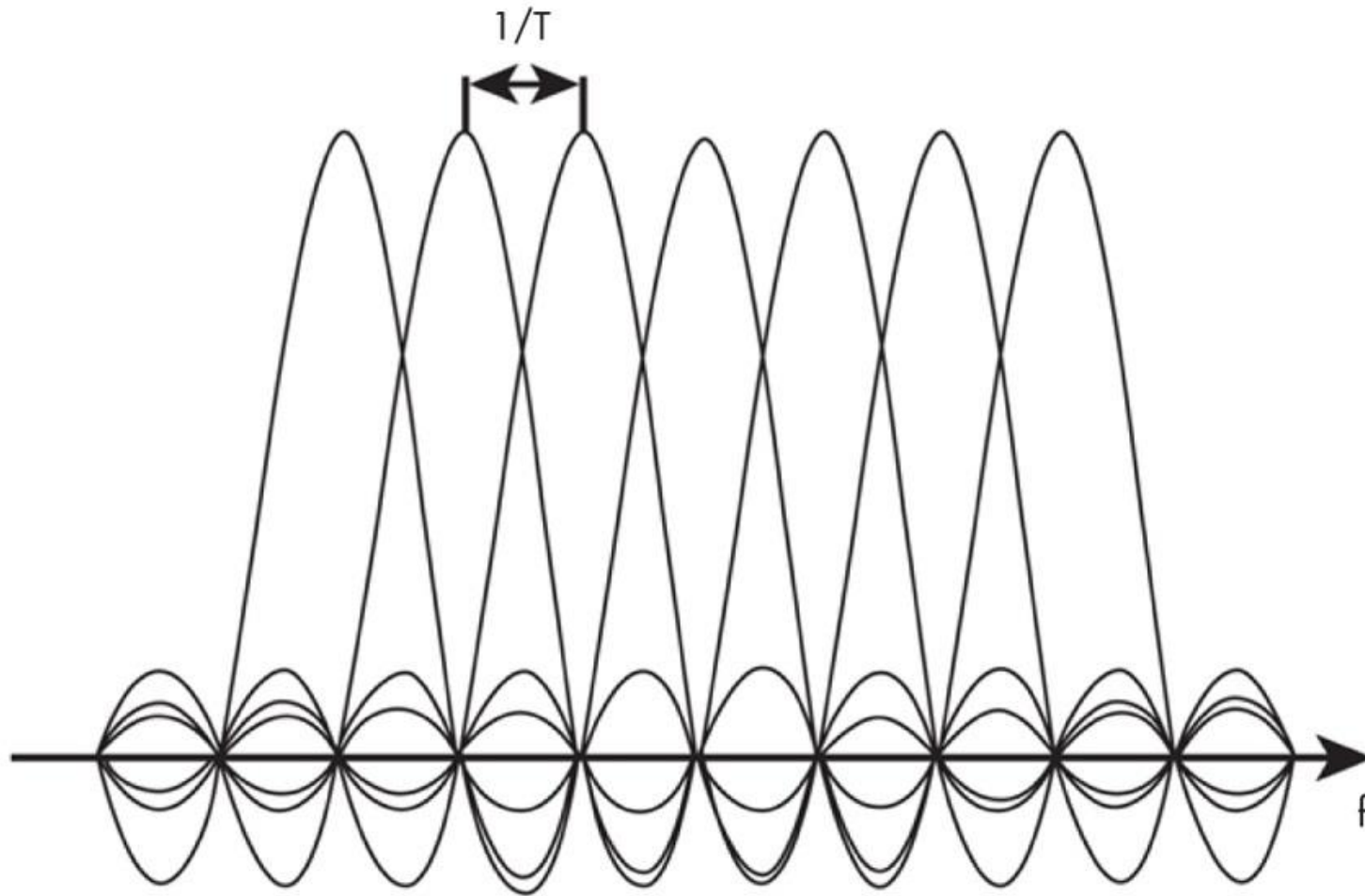
- Andmeedastuskiirus 1,5 kuni 54 Mbit/s
- 2,4 GHz (g) ja 5 GHz (a) sagedusalad
- Modulatsiooniviisid: BPSK, QPSK, 16-QAM ja 64-QAM
- Kasutab Ortogonaalset sagedustihendust (*OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing*)



# Alamkandja



# Ortogonaalne sagedustihendus *OFDM*



# IEEE 802.11a OFDM

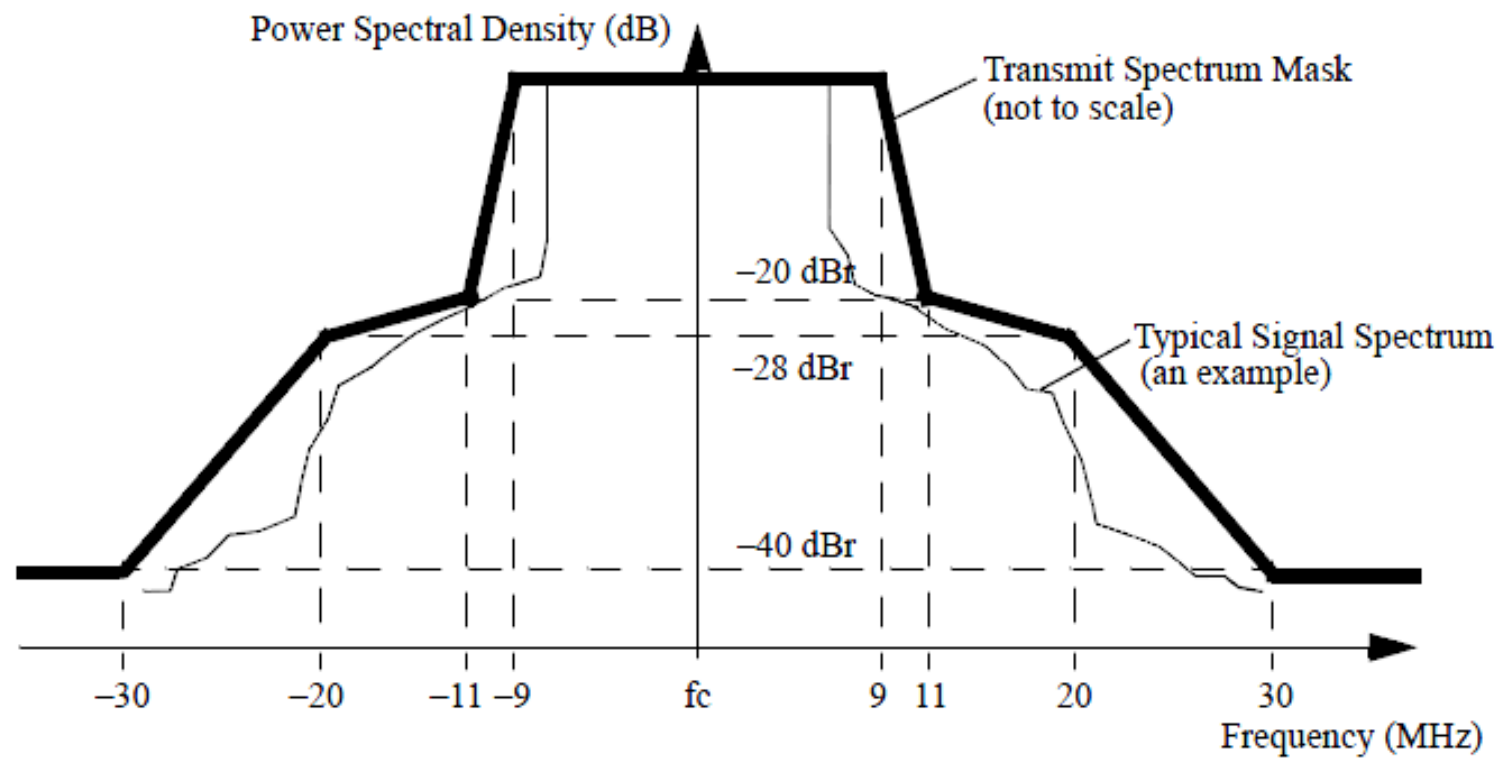
- Kasutab 52 kandjat
  - 48 andmeside- ja 4 pilootkanalit
- Teostatakse 64 punktilise diskreetse Fourieri teisenduse abil

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}$$

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{j2\pi kn}{N}}$$

- Kanali samm 312,5 kHz
- Sümboli kestus 3,2  $\mu$ s
- Sümbolite vahel 0,8  $\mu$ s paus (*Guard Interval*)

# 802.11a spektrimask

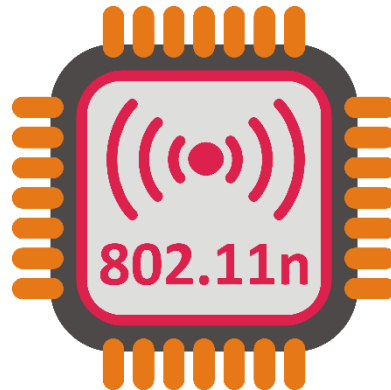


# IEEE 802.11a

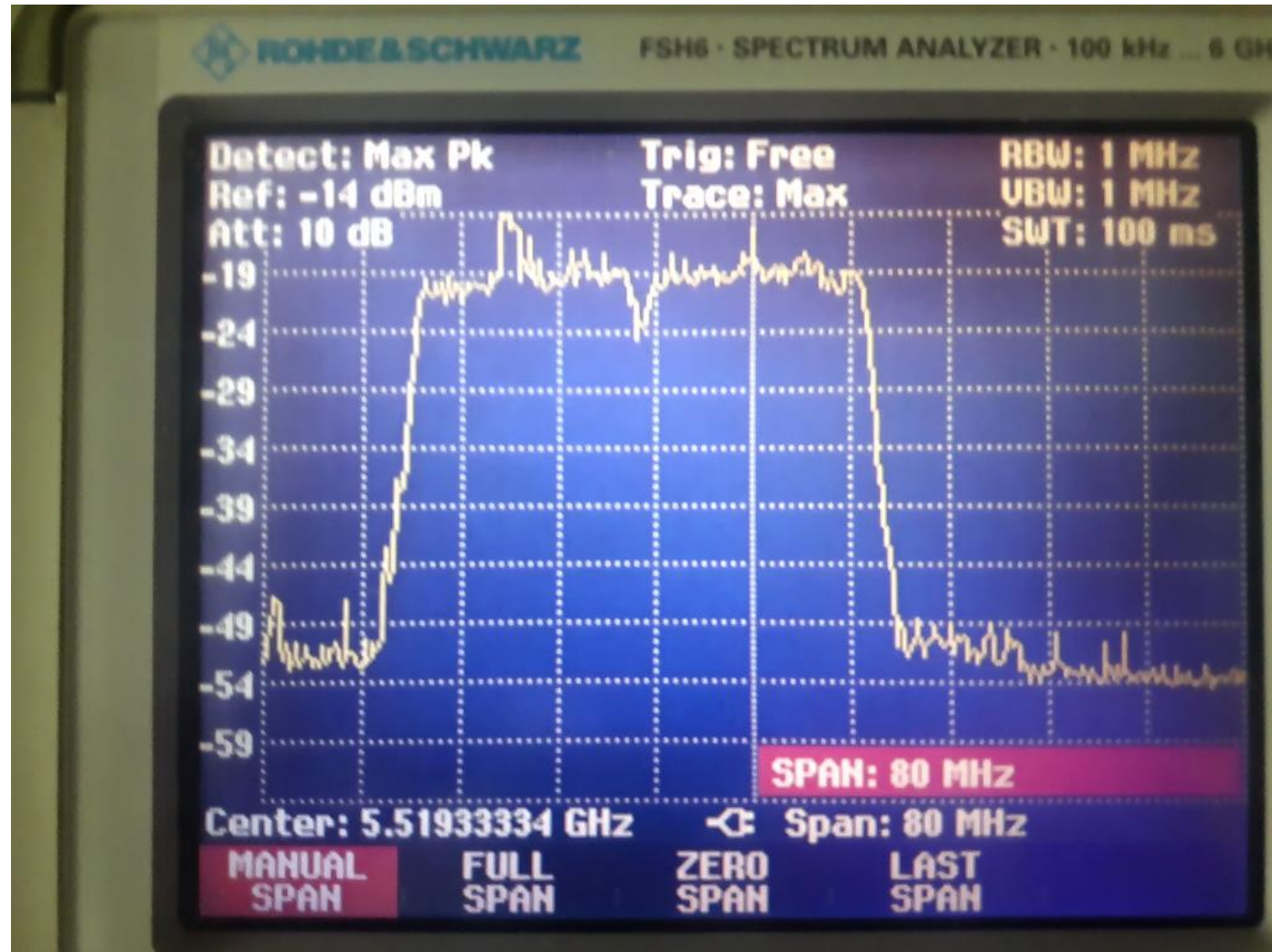
MCS	Modulatsiooniviis	Koodi kiirus	Edastuskiirus [Mbit/s]
13	BPSK	1/2	6
15	BPSK	3/4	9
5	QPSK	1/2	12
7	QPSK	3/4	18
9	16-QAM	1/2	24
11	16-QAM	3/4	36
1	64-QAM	2/3	48
3	64-QAM	3/4	54

# IEEE 802.11n

- Standard aastast 2009, seadmed tootmises juba 2007 aastast.
- Töötab nii 2,4 kui 5 GHz sagedusalas
- Kanali ribalaius kas 20 või 40 MHz
- Sümbolite vaheline paus 0,4  $\mu$ s (*Guard Interval*)
- Andmeedastuskiirus 54-600 Mbit/s
- Kasutab andmeedastuskiiruse suurendamiseks mitut antenni (MIMO)

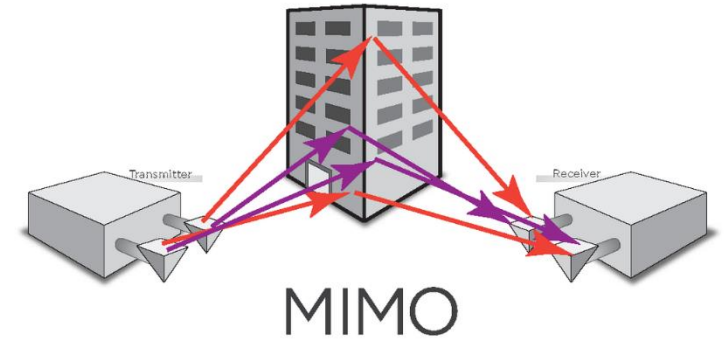


# IEEE 802.11n spekter



Traadita kohtvõrk ja hajaspektriside

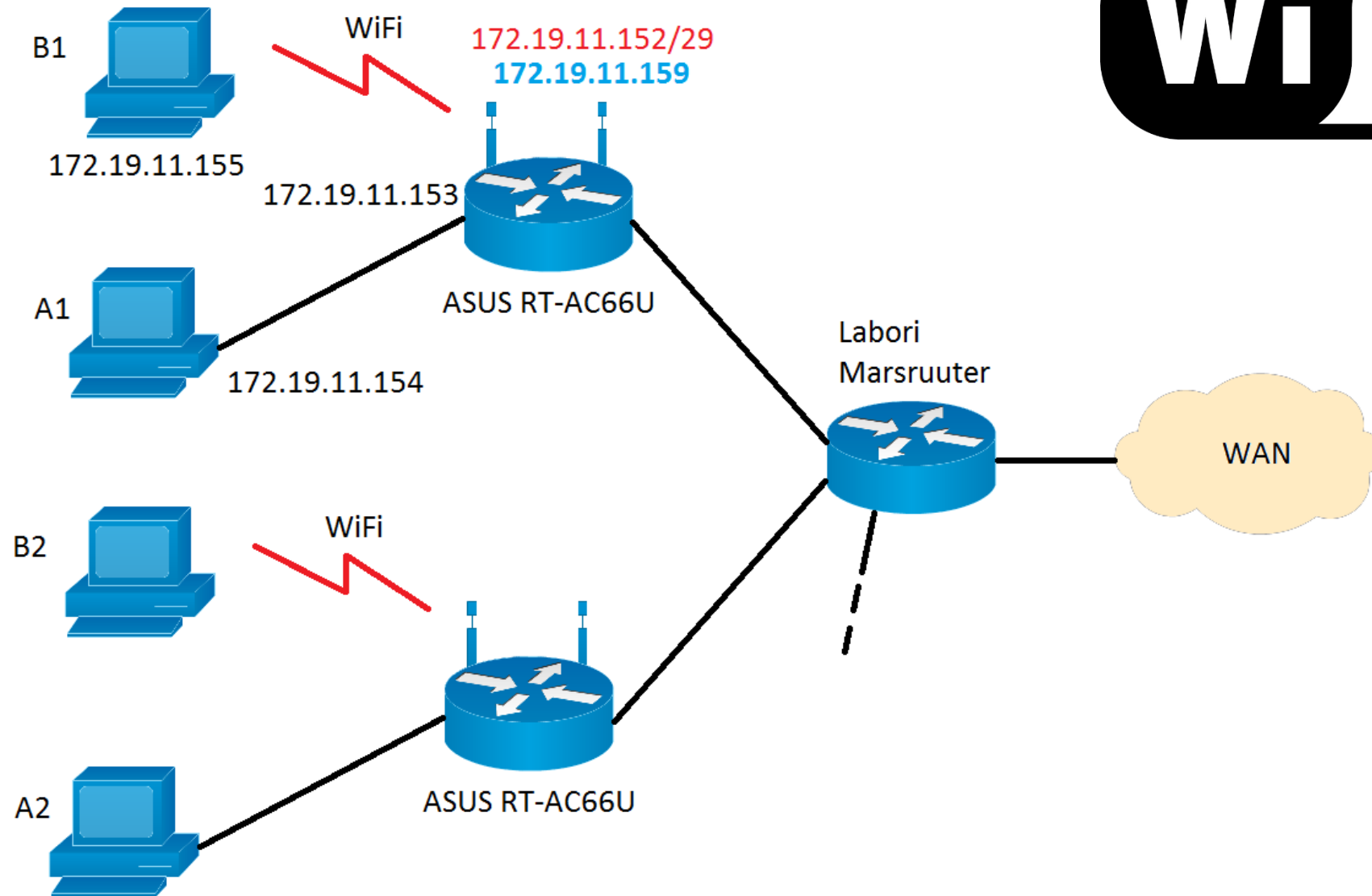
# MIMO



- MIMO – *Multiple Input Multiple Output*
- Andmeedastuse kiiruse või töökindluse suurendamiseks.
- Mitme antenni kasutamine nii saatjas, kui vastuvõtjas.
- Signaalitöötlus lähtuvalt kanali olekuinfost (CSI – *Channel State Information*)
- Suunadiagrammi formeerimine
- Ruumiline multipleksimine (*Spatial multiplexing*) – mitu aeglast kanalit
- Ruumiline kodeerimine (*Diversity Coding*)
- SDMA *Space Division Multiple Access*



# 3. praktikum



# IEEE 802.11...

- 802.11ac
  - Kanali ribalainus kuni 160MHz
  - Ühe kanali edastuskiirus 500Mbit/s
  - Kuni kaheksa MIMO kanali toetus
  - Kuni 256-QAM modulatsioon
- 802.11ad - WiGig
  - Kuni 7Gbit/s 60GHz
- 802.11af – White-Fi
  - 54-790MHz TV sagedused, kognitiivne raadio



# Bluetooth (IEEE 802.15.1)



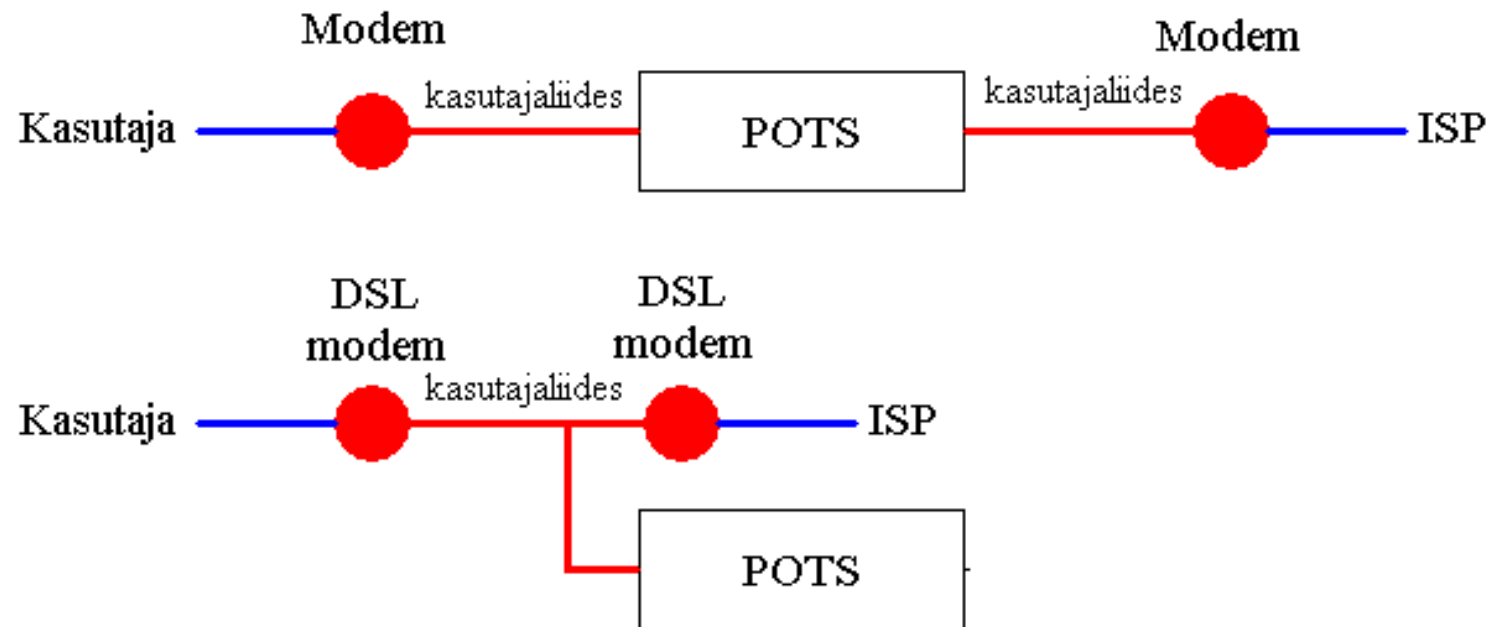
- 1994 Ericcson
- 2,4 GHz ISM-bänd
- Sagedushüppluse 79 kanali vahel ( $B = 1$  MHz, 800 hüpet sekundis)
- Modulatsiooniviisid:
  - Basic Rate (1 Mbit/s): GFSK
  - Enhanced Data Rate (2 ja 3 Mbit/s):  $\pi/4$  -DQPSK, 8-DPSK
- Asendamaks ühendusjuhtmeid (RS-232).
- Väga väike töökaugus 1-100m
- Väikesed kasutatavad võimsused -3 kuni 20dBm.
- 1-25 Mbit/s

# DSL – Digital Subscriber Line

- Digitaalne kasutajaliides – andmeedastus üle telefoniliini
  - „Viimane miil“
- Võimaldab andmesidet samaaegselt telefoniteenuse kasutamisega (FDM)
- Kasutatakse majanduslikel kaalutlustel – paljude kasutajateni on olemas analoogtelefoni ajastust pärinev kaabeldus.
  - Odavam kui fiiberoptilise kaabli paigaldamine.
- Edastuskiirus 256 kbit/s kuni 100 Mbit/s
  - Laboritingimustes saavutatud 1 kuni 10 Gbit/s



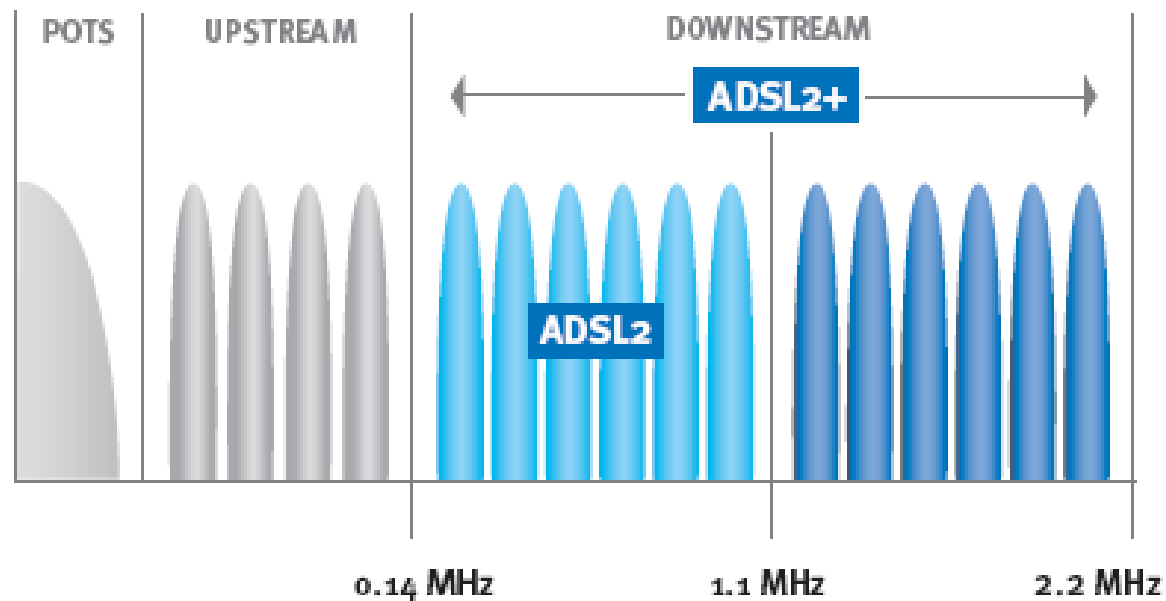
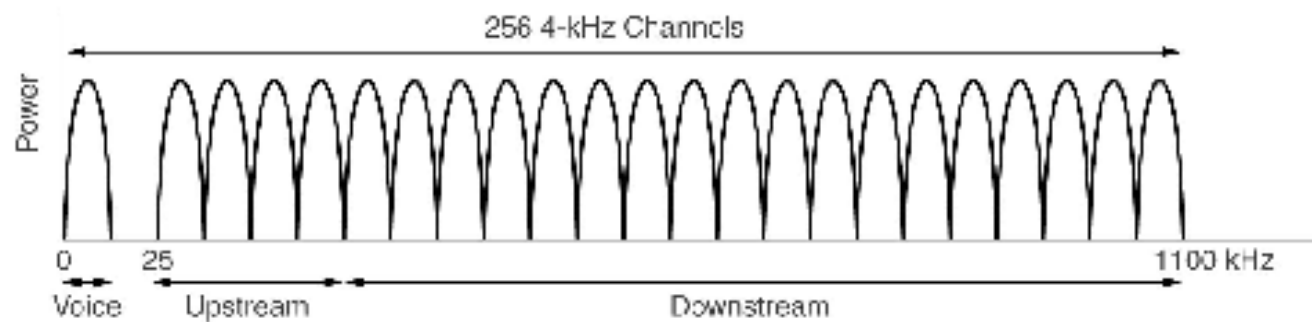
# DSL



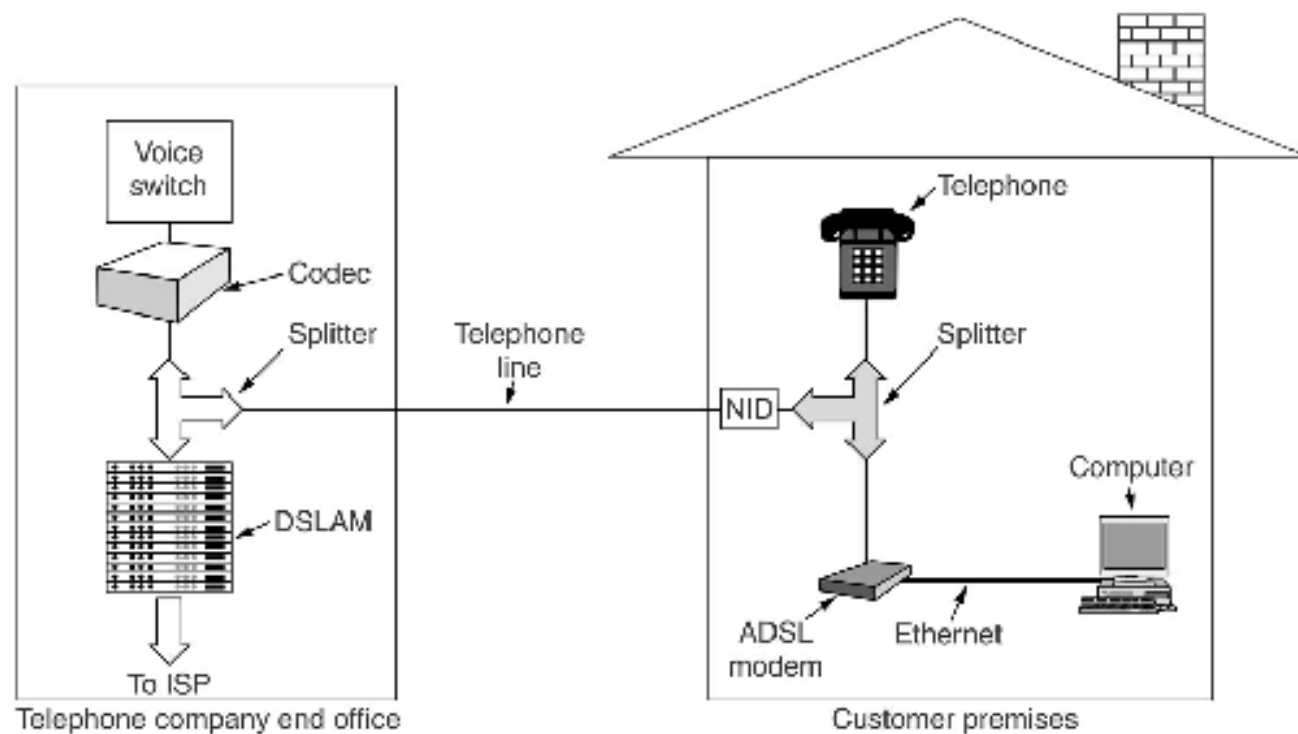
# ADSL

- Asümmeetriline DSL
- 1,104 MHz laiune sagedusriba jaotatud 256 kanaliks laiussega 4,3125 kHz.
  - OFDM
  - Allalink 224 kanalit
  - Üleslink 25 kanalit
- Sõltuvalt SNR väärtusest kannab iga üksik kanal 1-15 bitti informatsiooni.
  - Modulatsiooniviisid BPSK kuni 32768- QAM
- Sümbolikiirus 4000 baudi
  - Allalink:  $224 \times 15 \times 4000 = 13,4 \text{ Mbit/s}$
  - Üleslülili  $25 \times 15 \times 4000 = 1,5 \text{ Mbit/s}$

# ADSL kanalid

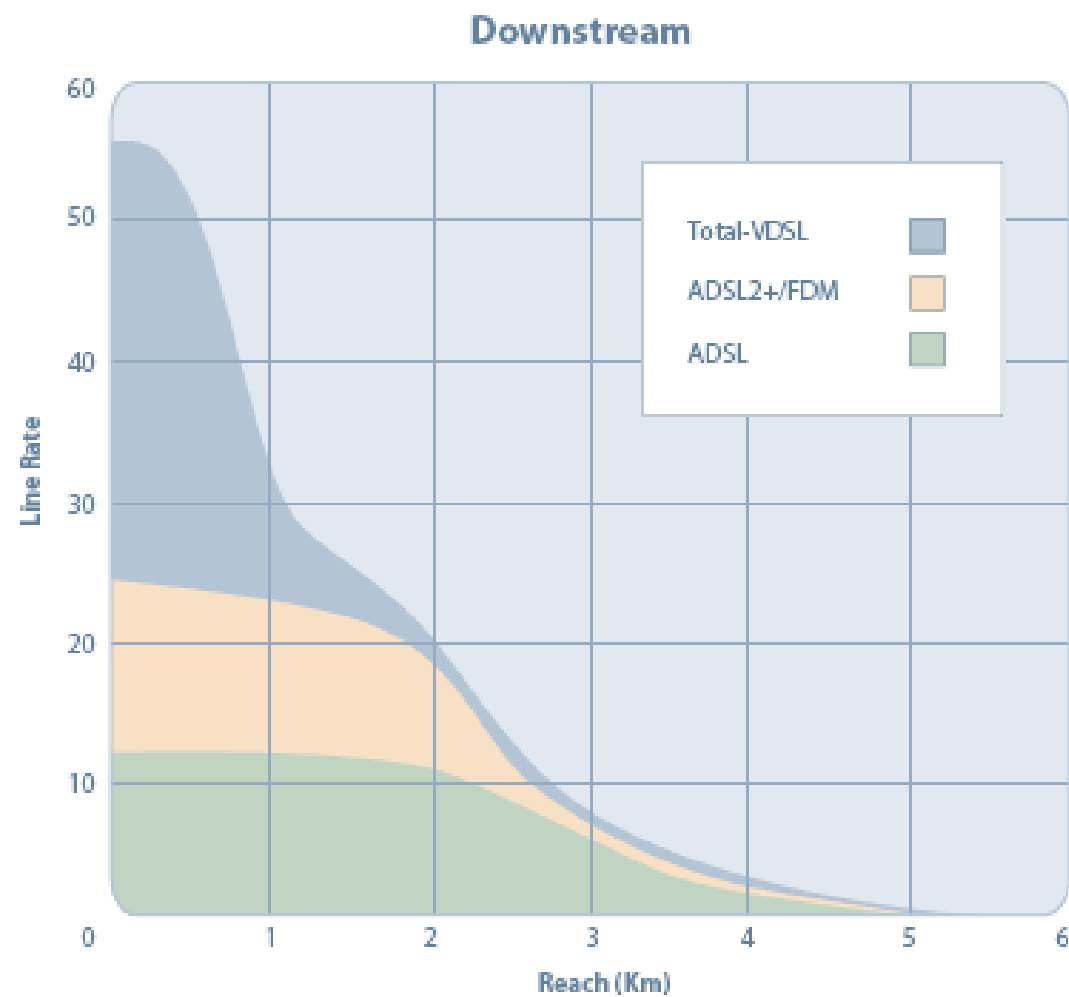


# ADSL ülesehitus





# xDSL



# Loe lisaks

- William Stallings. **Data and Computer Communications**. Kaheksas trükk. Peatükk 9 – **Spread Spectrum**.
- William Stallings. **Data and Computer Communications**. Kaheksas trükk. Peatükk 17 – **Wireless LANs**.

