

Kompiuterių tinklai - fizinis sluoksnis

Trečia paskaita (2.1 - 2.5 skyriai)

lekt. Vytautas Jančiauskas

Teoriniai komunikacijų pagrindai

Fourier analizė

Bet kurią periodinę funkciją $g(t)$ su periodu T galima išreikšti (galimai begaline) sinusų ir kosinusų suma.

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \quad (1)$$

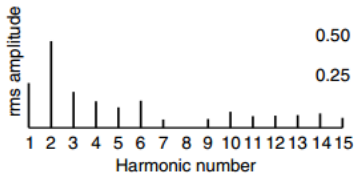
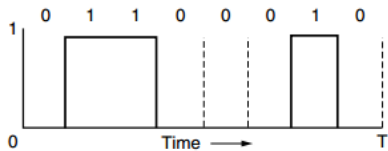
- ▶ c - konstanta,
- ▶ a_n ir b_n yra n -osios sinusoidės/kosinusoidės amplitudės,
- ▶ f yra fundamentalus dažnis lygus $\frac{1}{T}$,

Fourier koeficientai

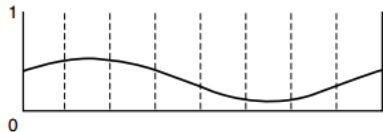
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt \quad (2)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt \quad (3)$$

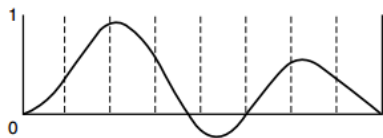
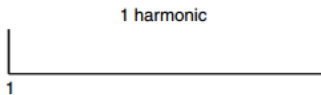
$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt \quad (4)$$



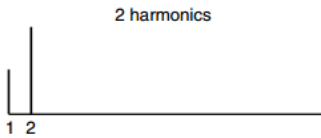
(a)



(b)



(c)



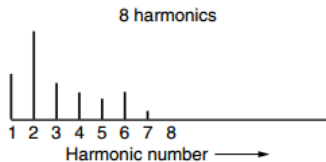
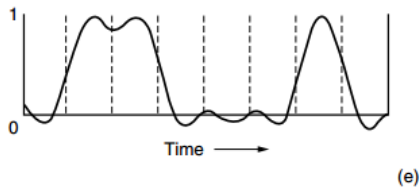
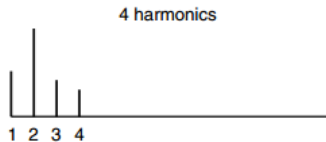
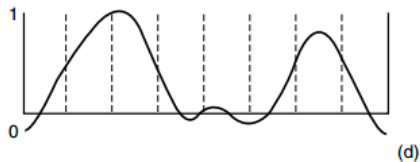


Figure 2-1. (a) A binary signal and its root-mean-square Fourier amplitudes. (b)–(e) Successive approximations to the original signal.

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

Figure 2-2. Relation between data rate and harmonics for our example.

Kanalo pralaidumas

- ▶ Išskirsime du skirtingus kanalo pralaidumo matavimo būdus - analoginį matuojamą Hercais ir skaitmeninį matuojamą bitais per sekundę.
- ▶ Lentelėje pateikti duomenys 3000 Hz analoginio pralaidumo kanalui.

Maksimalus teorinis kanalo pralaidumas

Nyquist teorema:

$$\text{maksimalus duomenų perdavimo greitis} = 2B \log_2 V \text{ bitai/s} \quad (5)$$

Kanale su triukšmu:

$$\text{maksimalus bitų per sekundę skaičius} = B \log_2(1 + S/N) \quad (6)$$

Čia:

- ▶ B - kanalo plotis Hercais,
- ▶ V - kiek diskrečių lygių įgauna signalas,
- ▶ S/N - signalo ir triukšmo santykis, jeigu išreikšta decibelais reikia pasiversti į paprastą santykį.

Duomenų perdavimo terpės

Magnetinė terpė

- ▶ Ultrium juostoje telpa apie 800GB.
- ▶ $60 \times 60 \times 60$ cm dėžėje telpa apie 1000 juostų. Tai yra apie 800 TB.
- ▶ Naudojant pašto kurjerių paslaugas tokia dėžė gali būti nugabenta praktiškai bet kur per parą.
- ▶ Duomenų perdavimo kaina gaunasi žemesnė negu bet kokio kompiuterių tinklo.

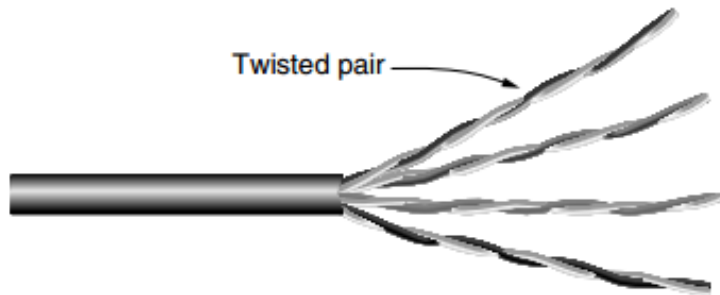


Figure 2-3. Category 5 UTP cable with four twisted pairs.

Susukta pora

- ▶ Viena seniausių skaitmeninių duomenų perdavimo terpių.
- ▶ Susukta pora susideda iš dviejų izoliuotų maždaug 1mm storio varinių laidų.
- ▶ Signalas perduodamas kaip įtampos skirtumas tarp laidų.
- ▶ Laidai susukami kadangi priešingu atveju jie sudarytų anteną. Susukant radijo bangos nuslopinamos.
- ▶ Kelios susuktos poros yra naudojamos kaip vienas laidas. Priklausomai nuo poreikio gali būti naudojamos visos arba tik dalis porų.
- ▶ Yra naudojamos kelios kategorijos. Dabar naudojami **Category 6** ir **Category 7**.
- ▶ **Category 7** laidai yra papildomai ekranuojami.

Bendraašis (**coaxial**) kabelis

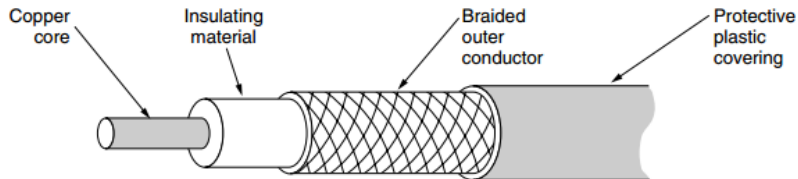


Figure 2-4. A coaxial cable.

Bendraašis (**coaxial**) kabelis

- ▶ Sudarytas iš standaus varinio laido, izoliacijos sluoksnio, metalinio pinto ekrano ir plastmasinės izoliuojančios dangos.
- ▶ Leidžia didesnį juostos plotį negu neekranuotos susuktos poros.
- ▶ Yra du tipai - 50 omų ir 75 omų.
- ▶ Plačiai naudotas kabelinėje televizijoje.
- ▶ Pasižymi geromis triukšminėmis savybėmis.
- ▶ Šiais laikais keičiamas pluoštinės optikos kabeliais.

Maitinimo linijų komunikacija

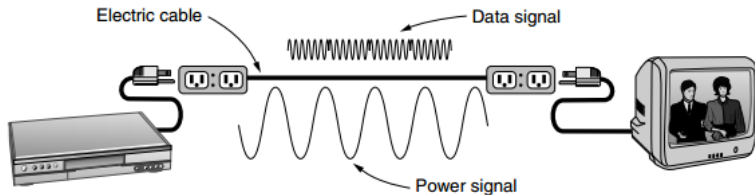


Figure 2-5. A network that uses household electrical wiring.

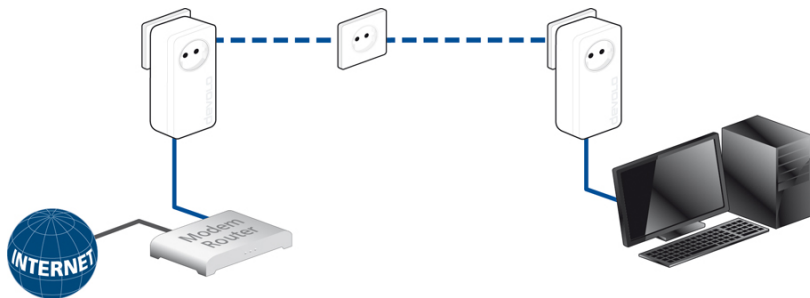
Maitinimo linijų komunikacija

- ▶ Maitinimo linijos patrauklios nes jos jau jungia visų namų ir butų kambarius.
- ▶ Aukštesnio dažnio, mažesnės amplitudės signalas paprasčiausiai pridedamas prie 50-60 Hz elektros maitinimo tinklo signalo.
- ▶ Leidžia bent 100 Mbps duomenų perdavimo greičius.

Trūkumai:

- ▶ Tinklo elektrinės savybės kinta įjungiant ir išjungiant elektros prietaisus. Gali skirtis ir tarp skirtingų būstų.
- ▶ Kanale didesnis triukšmo lygis nei susuktoje poroje.
- ▶ Skleidžia radijo bangas.

Maitinimo linijų komunikacija



Optinio pluošto terpė

- ▶ Optinė sistema susideda iš šviesos šaltinio ir sensoriaus. Paprastai šviesos impulsas reiškia 1 o šviesos nebuvimas reiškia 0.
- ▶ Šviesa perduodama specialiu šviesai laidžiu pluoštu.
- ▶ Leidžia labai didelį skaitmeninį kanalo plotį. Teorinė riba yra apie 50000 Gbps, šiuo metu praktinė riba yra apie 100 Gbps.
- ▶ Pluoštui naudojamas stiklas yra itin skaidrus, juo signalai gali sklisti daug kilometrų be poreikio juos stiprinti.
- ▶ Naudojamas Tier 1 interneto tiekėjų didelio atstumo stipriai apkrautom jungtims kurti. Populiarėja ir pluoštinio interneto atvedimas į namus.
- ▶ Pagrindinis optinio pluošto trūkumas yra didelė kaina.

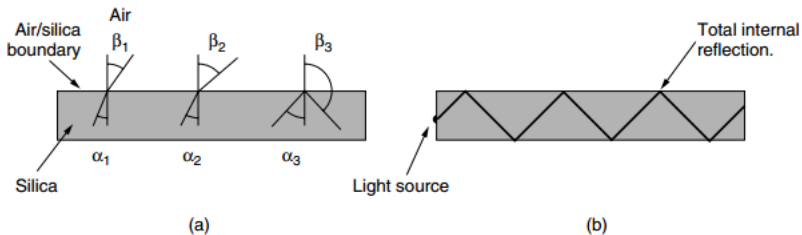


Figure 2-6. (a) Three examples of a light ray from inside a silica fiber impinging on the air/silica boundary at different angles. (b) Light trapped by total internal reflection.

Šviesos sklidimas pluoštu

- ▶ Šviesos signalo slopinimas pluošte priklauso nuo bangos ilgio.
- ▶ Naudojami trys pagrindiniai spektro ruožai - ties 0.85, 1.30 ir 1.55 mikrono bangos ilgiais.
- ▶ Visi šie ruožai yra tarp 25000 Ghz ir 30000 Ghz analoginio juostos pločio.
- ▶ Tradiciškai buvo naudojama 0.85 mikrono juosta, dabar populiarėja 1.55 mikrono juosta.
- ▶ Dabar vyksta tyrimai **solitonų** panaudojime komunikacijoje. Jie gali nukeliauti tūkstančius kilometrų be iškraipymo.

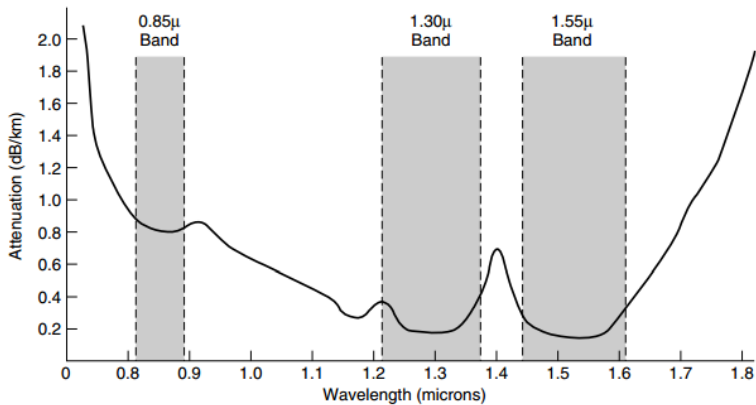


Figure 2-7. Attenuation of light through fiber in the infrared region.

Optiniai kabeliai

- ▶ Optinio pluošto gija yra panaši į bendraašį kabelį. Ji sudaryta iš stiklinės šerdies, ją gaubia tinkamai parinkto (žemesnio) refrakcijos koeficiento sluoksnis o viskas yra plastikiniame apvalkale.
- ▶ Kelios tokios gijos sudaro vieną kabelį.
- ▶ Optinius kabelius sujungti sudėtingiau nei varinius. Yra trys būdai - specialūs perėjimai, jungtys ir sulydymas. Visi jie kažkiek susilpnina šviesos signalą.
- ▶ Kaip šviesos šaltinis naudojami šviesos diodai arba puslaidininkiai lazeriai.
- ▶ Šviesą priima fotodiodai. Kaip tik jie ir yra faktorius apribojantis perdavimo greitį iki 100 Gbps.

Pluoštinės optikos ir varinių laidų palyginimas

- ▶ Pluoštinė optika leidžia gerokai didesnius duomenų perdavimo greičius.
- ▶ Pluoštinė optika taip pat yra gerokai brangesnė už varinius laidus.
- ▶ Kartoti optinį signalą reikia kas maždaug 50 km, variniu laidu perduodamą - kas 5 km.
- ▶ Optinis pluoštas yra gerokai lengvesnis.
- ▶ Optinio signalo yra sunku "pasiklausyti".
- ▶ Dirbti su optiniu pluoštu reikia daugiau įgudžių.

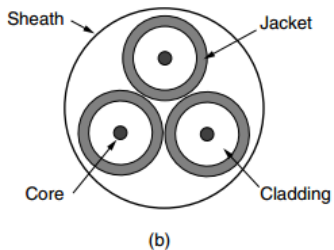
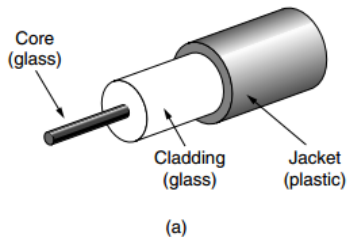


Figure 2-8. (a) Side view of a single fiber. (b) End view of a sheath with three fibers.

Duomenų perdavimas elektromagnetinėmis bangomis

Viena iš dažnai naudojamų perdavimo duomenų terpių yra elektromagnetinės bangos. Žemiau pateikiamas ryšys tarp bangos dažnio ir ilgio.

$$\lambda f = c \quad (7)$$

- ▶ λ - bangos ilgis (metrais),
- ▶ f - bangos dažnis (Hercais),
- ▶ c - atspėkit.

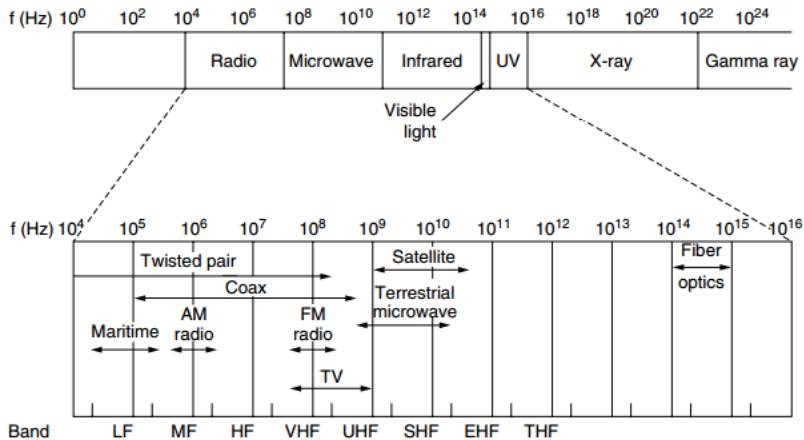


Figure 2-10. The electromagnetic spectrum and its uses for communication.

Duomenų perdavimas radijo bangomis

- ▶ Radijo bangos lengvai sukuriamos, priimamos, gali nukeliauti didelius atstumus ir prasiskverbti pro kliūtis.
- ▶ Radijo bangų, kaip duomenų perdavimo terpės, savybės priklauso nuo jų dažnio.
- ▶ VLF, LF ir MF dažnio bangos keliauja “palei žemę”, gali būti priimamos ir už 1000 km.
- ▶ HF ir VHF bangos sugeriamos žemės, tačiau tos, kurios pasiekia jonosferą yra atspindimos.

Duomenų perdavimas mikrobangomis

- ▶ Virš 100 MHz bangos keliauja maždaug tiesiai ir gali būti fokusuojamos.
- ▶ Prieš pluoštinę optiką mikrobangos buvo vienas pagrindinių tolimos komunikacijos būdų.
- ▶ Kadangi jos keliauja tiesiai, jas užstoja žemės išlinkimas. Jas reikia kartoti.

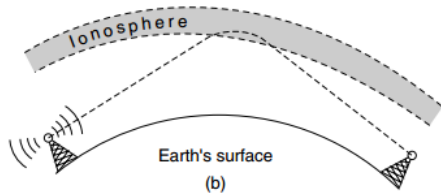
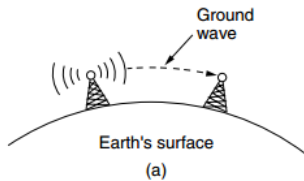


Figure 2-12. (a) In the VLF, LF, and MF bands, radio waves follow the curvature of the earth. (b) In the HF band, they bounce off the ionosphere.

Duomenų perdavimas infraraudonaisiais spinduliais

- ▶ Naudojamas televizijos ir kitų nuotolinio valdymo pultelių.
- ▶ Trūkumas tas, kad infraraudonieji spinduliai kaip ir matoma šviesa nepraeina pro kliūtis.
- ▶ Privalumas tas, kad visi duomenų signalai lieka tame pačiame bute, name ar kambaryje.
- ▶ Kartais naudojama sujungti nešiojamus kompiuterius ir spausdintuvus naudojant **IrDA (Infrared Data Association)** standartą.

Komunikacija šviesos signalais

- ▶ Pigus ir paprastas būdas perduoti duomenis yra perduoti juos šviesos signalais oru.
- ▶ Naudojamas lazeris ir fotodiodas.
- ▶ Metodo trūkumas yra tas, kad perdavimas yra lengvai paveikiamas oro sąlygų.
- ▶ Privalumai yra maža kaina ir lengvas įrengimas. Taip pat toks perdavimo būdas yra gana saugus - lazerio spindulio sunku nepastebimai "pasiklausyti".

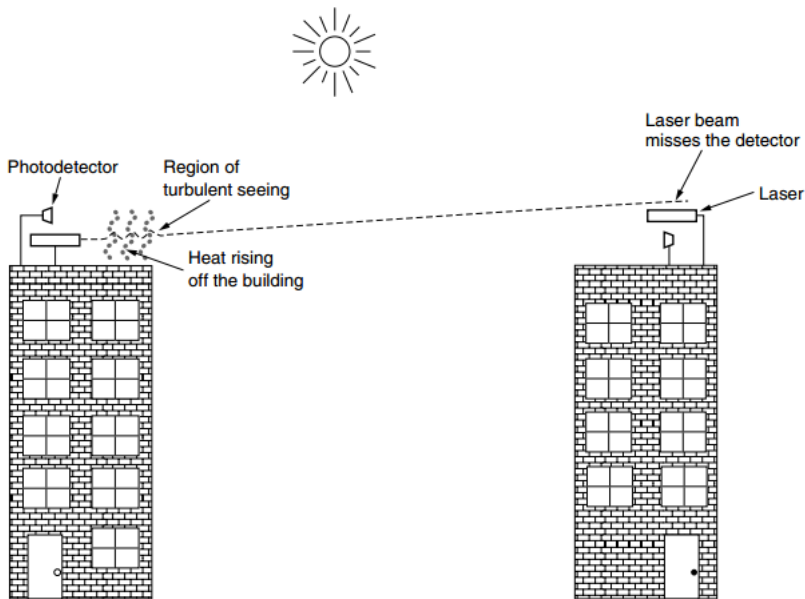


Figure 2-14. Convection currents can interfere with laser communication systems. A bidirectional system with two lasers is pictured here.

Komunikacijų palydovai

- ▶ Komunikacijų palydovai skrieja orbita aplink žemę tam tikrame aukštyje.
- ▶ Dažniausiai veikia tiesiog kaip mikrobangų signalų stiprintuvai - priimamus signalus sustiprina ir siunčia, nepakeistus ir neapdorotus, atgal į žemę.
- ▶ Toks principas vadinamas “sulenkto vamzdžio” (**bent pipe**) veikimo principu.
- ▶ Esant poreikiui signalas gali būti ir apdorojimas, taip sumažinant triukšmą.
- ▶ Kuo palydovas yra aukščiau tuo ilgiau jam užtrunka apskrieti aplink žemę.
- ▶ Van Aleno žiedai yra krūvį turinčių dalelių srautai laikomi žemės magnetinio lauko. Jei palydovas patektų į tuos žiedus būtų greitai sunaikintas.

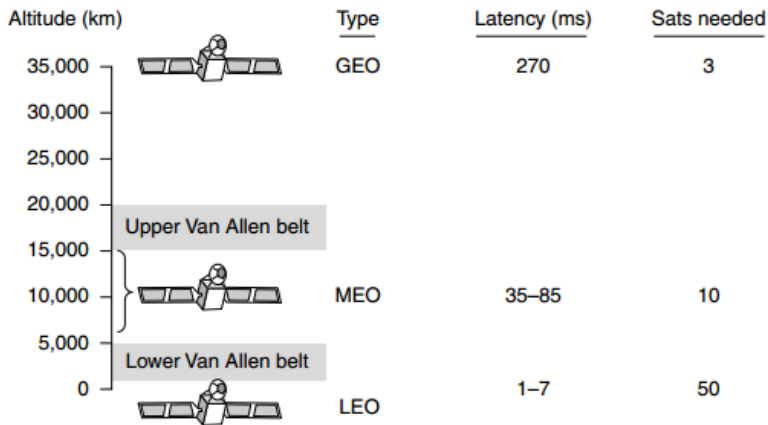


Figure 2-15. Communication satellites and some of their properties, including altitude above the earth, round-trip delay time, and number of satellites needed for global coverage.

Geostacionarūs palydovai (I)

- ▶ Pirmą kartą pasiūlyti 1945 metais mokslinės fantastikos rašytojo Arthur C. Clarke, kuris suprato, kad 35800 km aukštyje ekvatorine orbita skriejantis palydovas atrodys kaip nejudantis ir jo nereikės sekti.
- ▶ Taip yra todėl, kad tame aukštyje palydovas apskrieja aplink žemę lygiai per 24h, o tai sutampa su žemės sukimosi aplink savo ašį greičiu. Todėl palydovas atrodys kaip nuolat esantis toje pačioje vietoje.
- ▶ Esant šiuolaikiniams technologiniams apribojimams šie palydovai gali būti išdėstyti taip, kad tarp jų būtų ne mažesnis nei dviejų laipsnių atstumas.
- ▶ Vietas šioje orbitoje skirsto **ITU** organizacija. Tas procesas yra smarkiai politizuotas.
- ▶ Šiuolaikiniai geostacionarūs palydovai sveria apie 5000 kg ir naudoja kelis kilovatus elektros energijos. Jų poziciją reikia nuolat koreguoti, kad neiškryptu iš orbitos.

Geostacionarūs palydovai (II)

- ▶ **VSAT (Very-small-aperture terminal)** geostacionarūs palydovai yra gana nauja technologija.
- ▶ Šie palydovai turi mažesnes (1 m) antenas ir generuoja 1 vato signalą.
- ▶ Ryšio greitis yra maždaug 1 Mbps siunčiant ir keli Mbps priimant duomenis.
- ▶ Kadangi šių palydovų antenos yra per silpnos kad stotys ant žemės galėtų per juos tiesiogiai bendrauti yra naudojama viena didelė pagrindinė (**hub**) antena.

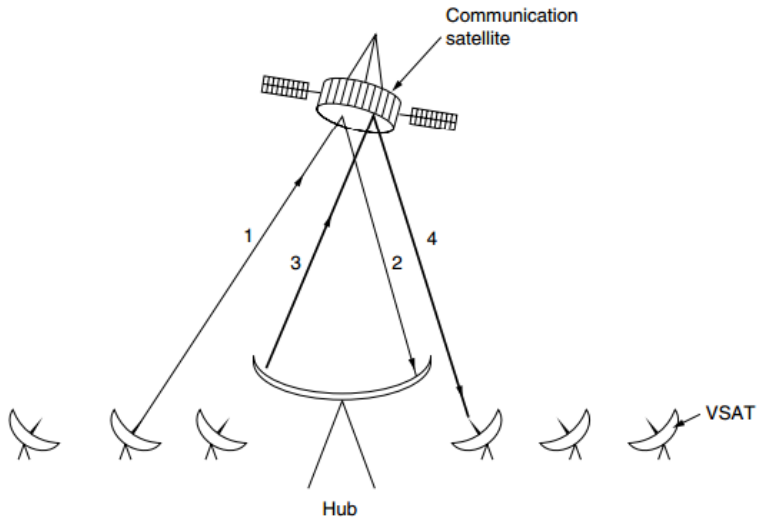


Figure 2-17. VSATs using a hub.

Vidutinio aukščio orbitos palydovai

- ▶ Šie palydovai skrenda vidutiniame aukštyje tarp dviejų Van Aleno žiedų.
- ▶ Šie palydovai apskrieja žemės rutulį per maždaug 6 valandas.
- ▶ Jie naudojami navigacijai o ne komunikacijai todėl apie juos plačiau nešnekėsime.
- ▶ Vienas iš vidutinės orbitos palydovų pavyzdžių yra apie 30 **GPS (Global Positioning System)** palydovų esančių 20200 km aukštyje.

Žemos orbitos palydovai (I)

- ▶ Šie palydovai skrieja žemai ir apskrieja aplink žemę labai greitai. Todėl juos yra sunku sekti.
- ▶ **Motorola** 1990 metais į orbitą paleido 66 **Iridium** palydovus (buvo planuota 77).
- ▶ Didelis palydovų skaičius leidžia jiems greitai keistis ir nebereikia sekti kiekvieno - dingus vienam atsiranda kitas.
- ▶ Gavęs duomenis vienas palydovas perduoda juos vienam iš keturių kaimynų. Galų gale esantis arčiausia nuo gavėjo palydovas perduoda duomenis gavėjui. Kitaip sakant duomenys yra perduodami kosmose.
- ▶ **Iridium** projektas bankrutavo 1999 metais, tačiau buvo perpirktas už 25 milijonus dolerių ir iš naujo pradėtas naudoti 2001 metų kovą.

Žemos orbitos palydovai (II)

- ▶ Kitas palydovų tinklas yra **Globalstar**. Jis sudarytas iš 48 žemoje orbitoje esančių palydovų naudojančių kiek kitą sistemą negu **Iridium**.
- ▶ Visi **Globalstar** palydovai naudoja lenkto vamzdžio sistemą.
- ▶ Duomenys gauti iš siuntėjo gauti palydovo yra perduodami į stotį žemėje ir jau žemės tinklais perduodami į arčiausiai gavėjo esančio palydovo artimiausią stotį. Stotis persiunčia palydovui o palydovas gavėjui.
- ▶ **CubeSats** yra $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ kubo formos palydovai, sveriantys iki 1 kg. Juos paleisti kainuoja tik 40000 dolerių. Toks buvo ir pirmas lietuviškas palydovas.

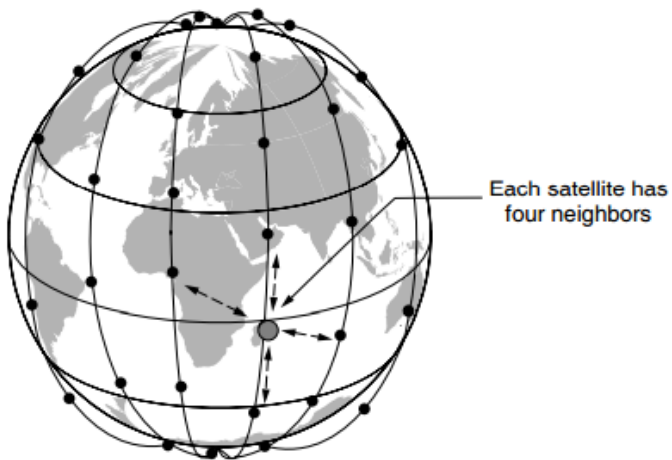


Figure 2-18. The Iridium satellites form six necklaces around the earth.

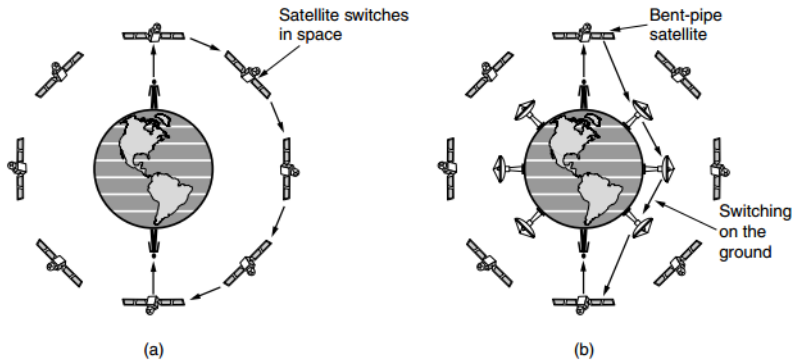


Figure 2-19. (a) Relaying in space. (b) Relaying on the ground.

Palydovų ir skaidulinės optikos palyginimas

- ▶ Perduoti duomenis pluoštinės optikos kanalais yra pigiau ir greičiau.
- ▶ Yra trys nišos kur naudoti palydovus vis dar yra patraukliau:
 - ▶ Norint atstatyti komunikacijas nelaimės zonose (po žemės drebėjimų ir pan.)
 - ▶ Komunikacijai kur tam nėra infrastruktūros (pvz. Antarktidoje) arba kur infrastruktūra brangesnė nei palydovas (valstybėse sudarytose iš daug salų).
 - ▶ Ten kur reikia transliavimo. Pavyzdžiui televizijos ar radijo signalų perdavimui.
- ▶ Situacija gali pasikeisti jeigu paleisti palydovus taps pigiau vystantis kosmoso transportui.

Duomenų signalų moduliavimas ir tankinimas (**multiplexing**)

Non-Return-to-Zero kodavimas

- ▶ Teigiama įtampa atitinka 1, neigiama įtampa - 0.
- ▶ Šio metodo privalumas yra paprastumas, tačiau praktikoje jis retai naudojamas.
- ▶ Kadangi signalas bus šiek tiek iškraipytas gavėjas paprastai tiesiog teigiamą įtampą interpretuoja kaip 1, neigiamą kaip 0.
- ▶ Galima naudoti daugiau nei vieną įtampos lygį koduoti informacijai. Jeigu naudojami keturi lygiai, kiekvienas lygis atitinka du bitus. Vienas įtampos lygis tokiu atveju vadinamas simboliu. Tokiu būdu padidinamas kanalo plotis.

Mančesterio kodavimas

- ▶ Naudojant NRZ kodavimą gali būti neaišku ar 15 vienetų yra 15 vienetų ar 16 vienetų ar 14 vienetų. Ypač jeigu laikrodis nėra idealiai tikslus.
- ▶ Vienas būdų sinchronizuoti laikrodžius yra perduoti laikrodžio impulsus atskira linija.
- ▶ Kitas būdas, vadinamas Mančesterio kodavimu yra naudoti XOR operaciją laikrodžio impulsams ir duomenų signalui. Taip gaunama šių signalų kombinacija.
- ▶ To rezultate bito viduryje visada bus perėjimas iš teigiamos įtampos į neigiamą arba atvirkščiai, iš to atstatomas laikrodžio signalas

Non-Return-to-Zero-Inverted kodavimas

- ▶ Šiame kodavime perėjimas iš vienos įtampos į kitą reiškia vienetą, jeigu perėjimo nėra nulį.
- ▶ **USB** naudoja šį kodavimą.
- ▶ Šiame kodavime ilgos vienetų sekos nesudaro problemų, tačiau ilgos nulių sekos jas sudaro.
- ▶ Tam išspręsti naudojamas **4B/5B** kodavimas. Jame užtikrinama kad ilgų nulių sekų nebus.
- ▶ Kitas būdas yra pridėti atsitiktinių duomenų su XOR operacija. Gavėjas atstato duomenis žinodamas atsitiktinių skaičių generatoriais “sėklą”.

Data (4B)	Codeword (5B)	Data (4B)	Codeword (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Figure 2-21. 4B/5B mapping.

Dviašis kodavimas

- ▶ Vienetai koduojami perėjimais tarp $+1V$ į $-1V$.
- ▶ Taip užtikrinama kad signalas yra subalansuotas - jame yra vienodai teigiamos ir neigiamos įtampos.
- ▶ Kitas būdas užtikrinti subalansavimą yra naudoti atitinkamą duomenų kodavimą.

(a) Bit stream

(b) Non-Return to Zero (NRZ)

(c) NRZ Invert (NRZI)

(d) Manchester

(Clock that is XORed with bits)

(e) Bipolar encoding
(also Alternate Mark
Inversion, AMI)

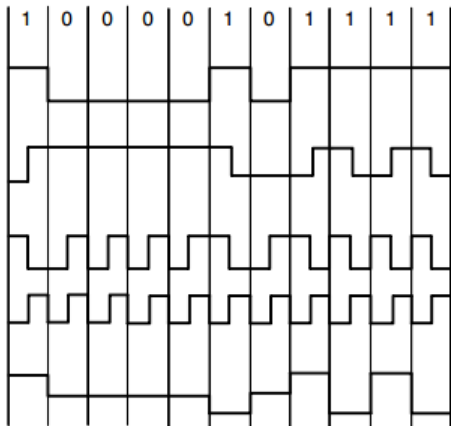


Figure 2-20. Line codes: (a) Bits, (b) NRZ, (c) NRZI, (d) Manchester, (e) Bipolar or AMI.

Passband transmission

- ▶ Dvi skirtingos signalo amplitudės gali būti naudojamos koduoti vienetams ir nuliams.
- ▶ Vienetai ir nuliai gali būti koduojami skirtingo dažnio signalais.
- ▶ Vienetai ir nuliai gali būti koduojami keičiant periodinio signalo fazę.

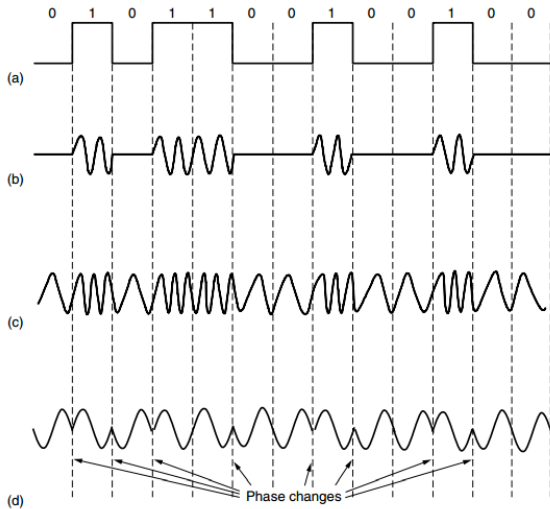
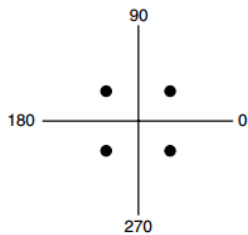
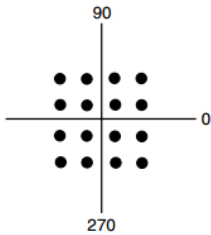


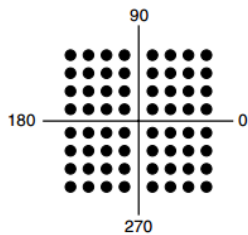
Figure 2-22. (a) A binary signal. (b) Amplitude shift keying. (c) Frequency shift keying. (d) Phase shift keying.



(a)

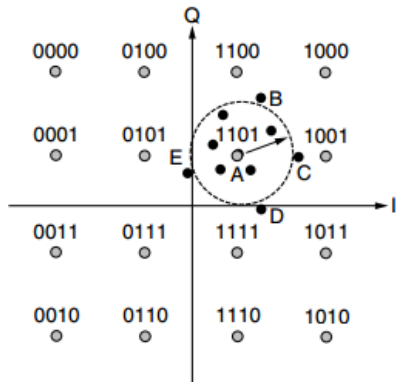


(b)



(c)

Figure 2-23. (a) QPSK. (b) QAM-16. (c) QAM-64.



When 1101 is sent:

Point	Decodes as	Bit errors
A	1101	0
B	11 <u>0</u> 0	1
C	1 <u>0</u> 01	1
D	11 <u>1</u> 1	1
E	<u>0</u> 101	1

Figure 2-24. Gray-coded QAM-16.

Duomenų kanalų tankinimas

- ▶ Norint perduoti tuo pačiu kanalu kelis duomenų srautus jie yra tankinami (**multiplexing**).
- ▶ Vienas pavyzdžių tai kai norima tuo pačiu telefono laidu perduoti kelis pokalbius.

Frequency Division Multiplexing (FDM)

- ▶ Kiekvienas duomenų srautas užima dalį prieinamo spektro.
- ▶ Spektras dalinamas juostomis. Kiekvienos juostos plotis yra šiek tiek didesnis negu reikia duomenų signalui. Papildomas plotis vadinamas apsaugine juosta (**guard band**).
- ▶ Duomenų signalo dažnis padidinamas taip, kad jo centras atsidurtų ties skirtos juostos centru.
- ▶ Duomenų signalai tada paprasčiausiai sudedami.
- ▶ Akivaizdu kad perdavimo terpės plotis turi būti didesnis už duomenų signalo bent tiek kartų kiek reikia perduotį duomenų tuo pačiu metu.

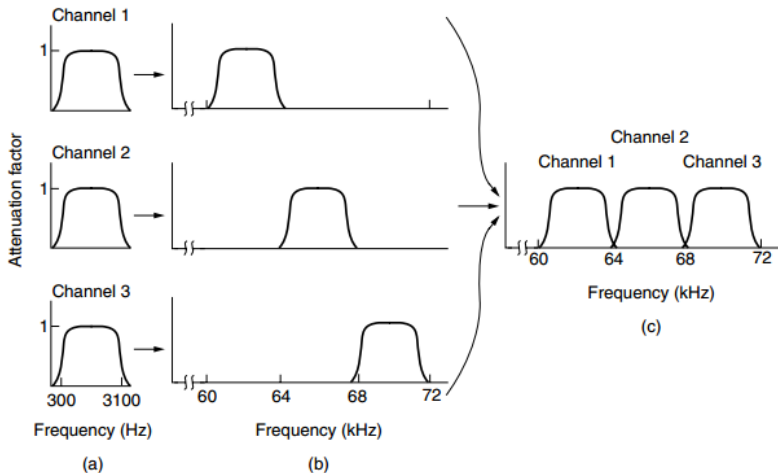


Figure 2-25. Frequency division multiplexing. (a) The original bandwidths. (b) The bandwidths raised in frequency. (c) The multiplexed channel.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

- ▶ Panašus į FDM, tačiau signalai yra žymiai tankiau suspausti.
- ▶ Signalai specialiai apdorojami, kad jų dažnio atsakas kaimyninių signalų atsako centre yra nulis.
- ▶ Signalas atstatomas skaitant duomenis dažnių atsako centre.
- ▶ Naudojamas 802.11, kabelinės televizijos tinkluose ir maitinimo linijų tinkluose, planuojamas 4G telefonų tinkluose.

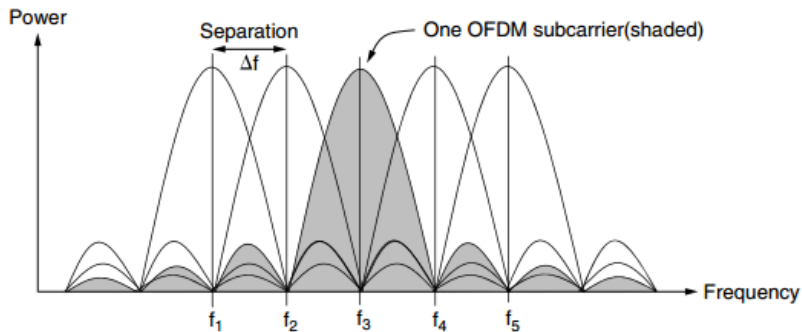


Figure 2-26. Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM).

Time Division Multiplexing

- ▶ Alternatyva FDM.
- ▶ Kiekvienas duomenų kanalas iš eilės gauna priėjimą prie viso spektro.
- ▶ Kad metodas veiktų pridedamas nedidelis laiko intervalas tarp signalo blokų, tam, kad nustatyti jų ribas.
- ▶ Plačiai naudojamas telefonų ir mobilių telefonų tinkluose.

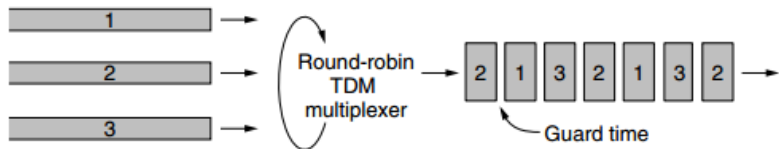


Figure 2-27. Time Division Multiplexing (TDM).

Code Division Multiplexing

- ▶ Kiekvienas duomenų srautas transliuojamas per visą prieinamą spektrą.
- ▶ Signalai yra pakeičiami taip, kad kiekvienas bitas pavirta tam tikra tankesne seka (**chip sequence**).
- ▶ Kanalai tada sudedami ir transliuojami. Šiai sumai transliuoti reikia didesnio spektro pločio negu kiekvienam duomenų srautui.
- ▶ Kanalai atkuriami iš sumos naudojant kodų teoriją.
- ▶ Naudojama mobiliuosiuose, palydovų ir kabelinės televizijos tinkluose.
- ▶ <http://morse.colorado.edu/~timxb/cdma/bak/pageCDMA.html>

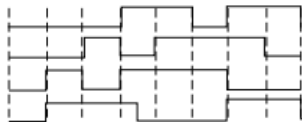
$$A = (-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$$

$$B = (-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$$

$$C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$D = (-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$$

(a)



(b)

$$S_1 = C = (-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$$

$$S_2 = B+C = (-2 \ 0 \ 0 \ 0 \ +2 \ +2 \ 0 \ -2)$$

$$S_3 = A+\bar{B} = (0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$$

$$S_4 = A+\bar{B}+C = (-1 \ +1 \ -3 \ +3 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1)$$

$$S_5 = A+B+C+D = (-4 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2 \ 0 \ +2 \ -2)$$

$$S_6 = A+B+\bar{C}+D = (-2 \ -2 \ 0 \ -2 \ 0 \ -2 \ +4 \ 0)$$

(c)

$$S_1 \bullet C = [1+1-1+1+1+1-1-1]/8 = 1$$

$$S_2 \bullet C = [2+0+0+0+2+2+0-2]/8 = 1$$

$$S_3 \bullet C = [0+0+2+2+0-2+0-2]/8 = 0$$

$$S_4 \bullet C = [1+1+3+3+1-1+1-1]/8 = 1$$

$$S_5 \bullet C = [4+0+2+0+2+0-2+2]/8 = 1$$

$$S_6 \bullet C = [2-2+0-2+0-2-4+0]/8 = -1$$

(d)

Figure 2-28. (a) Chip sequences for four stations. (b) Signals the sequences represent (c) Six examples of transmissions. (d) Recovery of station C's signal.

Uždaviniai

Uždaviniai I

13. Suskaičiuokite funkcijos $f(t) = t$, $(0 \leq t \leq 1)$ Fourier koeficientus.
14. Betriukšmis 4-kHz kanalas yra nuskaitomas kas 1 msec. Koks yra maksimalus duomenų perdavimo greitis? Koks jis bus jei kanale signalo/triukšmo santykis yra 30 dB?
15. Televizijos kanalas yra 6 MHz pločio. Kiek bitų per sekundę gali būti juo perduodama jeigu naudojami keturių lygių skaitmeniniai signalai? Tarkime, kad kanale triukšmo lygis nulinis.
16. Dvejetainis signalas siunčiamas 3-kHz kanalu, kur signalo/triukšmo santykis yra 20 dB, koks yra maksimalus pasiekiamas duomenų perdavimo greitis?

Uždaviniai II

17. Norima perduoti kompiuterio ekrano vaizdą pluoštinės optikos kanalu. Ekranas yra 2560×1600 pikselių dydžio, kiekvienas pikselis užima 24 bitus. Reikia perduoti 60 ekrano vaizdų per sekundę. Koks turi būti duomenų perdavimo kanalo plotis ir kiek bangos ilgio mikronų reikia šiai juostai jei ji yra ties 1.30 mikronų?
18. Radijo antenos geriausiai veikia kai antenos diametras yra maždaug lygus radijo bangos ilgiui. Šie diametrai paprastai yra tarp 1cm ir 5 metro. Kokį dažnių ruožą jos padengia?
19. Koks yra duomenų maksimalus perdavimo greitis jeigu juostos plotis yra 0.1 mikronų ties 1 mikrono bangos ilgiu?
20. Įrodykite kad esant 4B/5B kodavimui, signalo perėjimas įvyks kas keturis bitus.

Kitą kartą - kanalų sluoksnis (4 skyrius)