

14. Kanalikiht

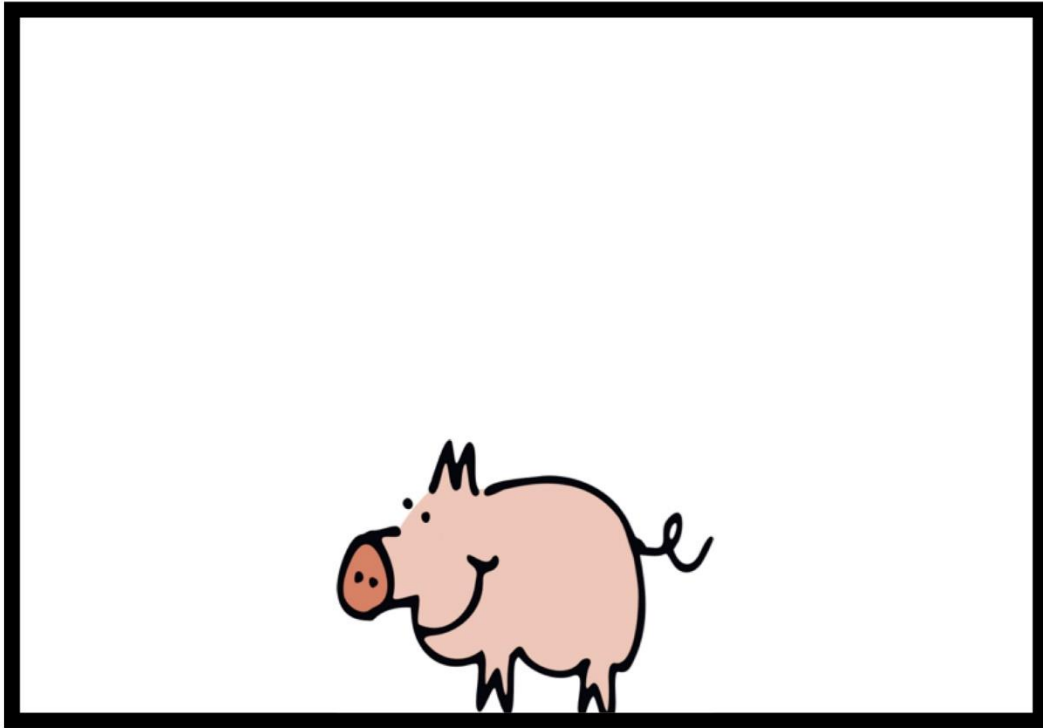
Arvutivõrgud IEE1100

Ivo Mürsepp

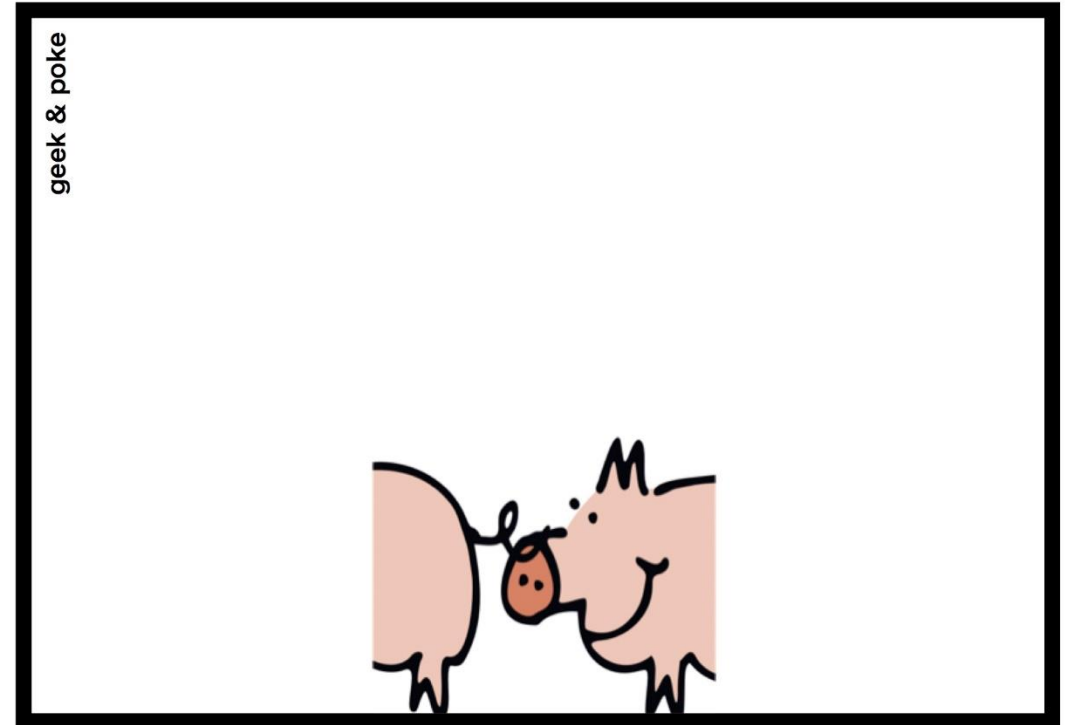
Meediapöörduskiht *MAC*

- Saatmisel andmete jaotamine kaadriteks, füüsilisel aadressi (MAC aadress), kaadri pikkuse ja veatuvastusväljade lisamine.
- Vastuvõtul andmete eraldamine kaadrist, aadressi ja vigade tuvastamine.
- Kaadri sünkroniseerimine.
- Füüsilisele meediumile juurdepääsu haldamine (*CSMA/CD*).

SIMPLY EXPLAINED



BIG-ENDIAN



LITTLE-ENDIAN

Veatuuvastus

- Kontrollsumma
 - Lihtne aga ebatõhus
 - Paarsuskontroll
 - Mooduliga liitmine
- CRC (kontrollkood)
 - *Cyclic redundancy check*
 - Põhineb jagamisel
 - Käsitleb andmeid polünoomina
- CRC spetsifikatsioon:
 - Määratud genereeriva polünoomiga
 - CRC-4: $x^4 + x + 1$; 0x3 (G.704)
 - CRC-16-CCITT: 0x1021
 - Algväärtusega
 - Tulemi edastamise järjekorraga
 - Tulemile liidetava konstandiga

Biti- ja baiditäitmine(*Bit- and byte stuffing*)

- Kaadri algust ja lõppu tähistatakse spetsiifilise väljaga (*flag*): 0x7E
- Juhul kui kaadri sees edastatavates andmetes leidub sama bitijärjestus, siis loeb vastuvõtja selle ekslikult kaadri lõpuks.
- Lahenduseks on nn *bit stuffing*.
 - Iga viie järjestikuse „1“ järele lisatakse „0“ (farssbitt).
- Juhul, kui andmeid edastatakse baidi kaupa on mõistlikum kasutada *byte stuffing*'u nimelist tehnikat (*Control Octet Transparency*).
 - HDLC protokollis kasutatakse spetsiaalselt sümbolit 0x7D (*Control escape octet*), mis asetatakse iga kaadri sees oleva 0x7E või 0x7D oktetit ette. Lisaks inverteeritakse vastava oktetit viies bitt.

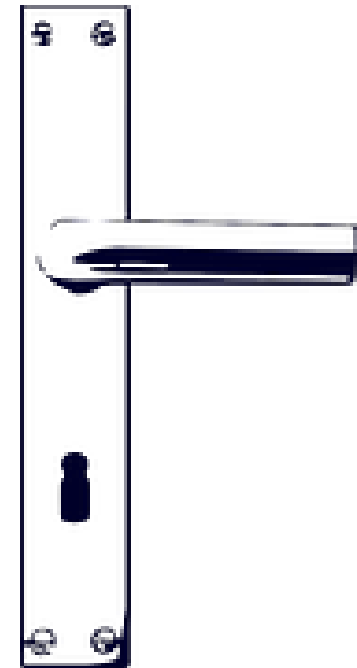
Meediapöördus raadiovõrgus

- Peidetud sõlme probleem
 - *Hidden node probleem*
 - Lahendus: pollimine, token
- Avaliku sõlme probleem
 - *Exposed node probleem*
 - Lahendus: RTS/CTS mehhanism



Loogilise ühenduse kiht *LLC*

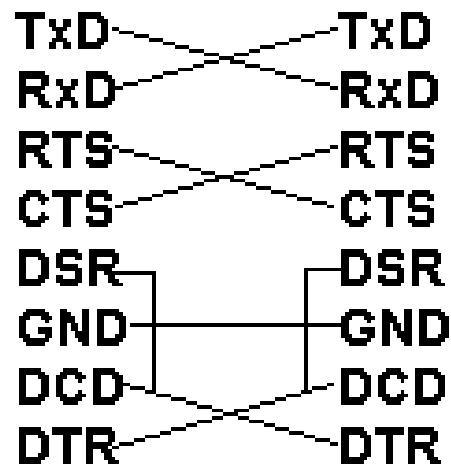
- Liides kõrgema kihi protokollide jaoks. Andmete multipleksimine (*LSAP*).
- Voo juhtimine (*Stop-and-Wait, Sliding-Window*).
- Vigade tuvastus ja parandamine (*ARQ, FEC*).



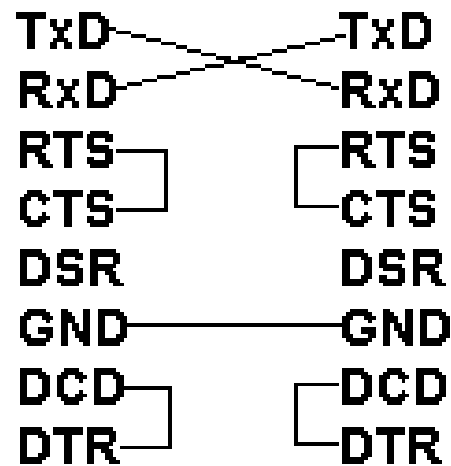
Riistvaraline vookontroll

Nr	Lühend	Tähendus	Selgitus
1	CD	<i>Carrier Detect</i>	Modemid on omavahel ühendatud
2	Rx	<i>Receive</i>	Sisend vastuvõetavate andmete jaoks
3	Tx	<i>Transmit</i>	Väljund edastatavatele andmetele
4	DTR	<i>Data Terminal Ready</i>	Arvuti (DTE) on sideks valmis
5	GND	<i>Ground</i>	Maa
6	DSR	<i>Data Set Ready</i>	Modem (DCE) on sideks valmis
7	RTS	<i>Request To Send</i>	Arvuti (DTE) soovib edastada
8	CTS	<i>Clear To Send</i>	Modem (DCE) on valmis andmeid vastu võtma
9	RI	<i>Ring Indicator</i>	Sissetulev „kõne“

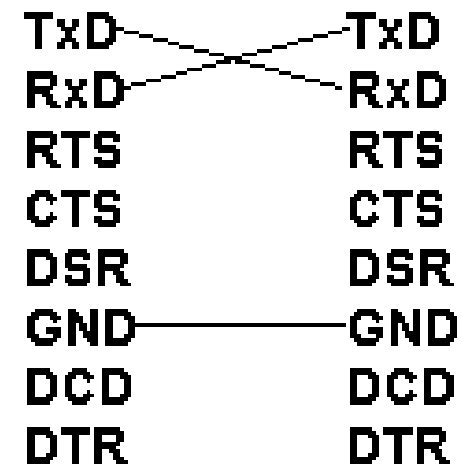
Nullmodem



Full Handshake
Null Modem



No Handshake
Null Modem



Simple 3-Wire
Connection

Vigu parandavad koodid

- FEC – *Forward Error Correction*
- Saavutatakse kontrollitud liiasuse lisamisega.
- Hammingi koodid
 - Kolmkeordselt kordav kood - Hamming (3,1)
 - Hamming (7,4)
- Reed-Solomoni koodid
 - CD, DVB, WiMAX, QR
- BCH koodid
- Konvolutsioonilised koodid
- Võrekoodid
 - Viterbi algoritm.
- Turbokoodid
 - 3G/4G mobiil, kosmoseside
- LDPC koodid (Gallageri koodid)



Mõisted

- Hammingi kaal
 - Koodsõna \mathbf{c} Hammingi kaaluks $w\{\mathbf{c}\}$ nimetatakse tema mittenulliste koordinaatide arvu.
- Hammingi kaugus
 - Kahe koodsõna \mathbf{c}_i ja \mathbf{c}_j vaheliseks kauguseks nimetatakse nende koordinaatide arvu, milles nad üksteisest erinevad. $h = d\{\mathbf{c}_i, \mathbf{c}_j\} = w\{\mathbf{c}_i \oplus \mathbf{c}_j\}$
- Minimaalne kaugus
 - Koodi \mathbf{C} minimaalseks kauguseks h_{min} nimetatakse kahe erineva koodsõna vähimat kaugust.

$$h_{min} = d\{\mathbf{c}_i, \mathbf{c}_j\} \quad i \neq j$$

Hammingi kood

- Lineaarne binaarne plokk-kood minimaalse kaugusega $h_{min} = 3$.
- Iga täisarvu $r \geq 2$ korral on ploki pikkus $n = 2^r - 1$, millest informatsiooni kannab $k = 2^r - r - 1$ bitti ja ülejäänud on paarsusbitid.
- Koodi kiiruseks (*code rate*) nimetatakse informatsiooni edastavate bittide arvu k suhet kogu ploki pikkusesse n .

$$R = k/n$$

- Hammingi koodi kiirus

$$R = 1 - r/(2^r - 1)$$

- Suudab parandada ühekordseid bitivigu.

Hamming (7,4)

$$r = 3$$

$$n = 7$$

$$k = 4$$

$$R = 4/7 \approx 0,57$$

Biti nr		7	6	5	4	3	2	1
Biti sisu		$d7$	$d6$	$d5$	$p4$	$d3$	$p2$	$p1$
	$p4$	x	x	x	x			
	$p2$	x	x			x	x	
	$p1$	x		x		x		x

$$p4 = d7 + d6 + d5$$

$$p2 = d7 + d6 + d3$$

$$p1 = d7 + d5 + d3$$

Sõnum: 1101

$$p4 = d7 + d6 + d5 = 1+1+0 = 0$$

$$p2 = d7 + d6 + d3 = 1+1+1 = 1$$

$$p1 = d7 + d5 + d3 = 1+0+1 = 0$$

Koodsõna: 1100110

Hamming (7,4)

Sõnum: 1101

Koodsõna **c**: 1100110

Veavektor **e**: 0010000

Vigane koodsõna: 1110110

Sündroom:

$$A = p4 + d7 + d6 + d5 = 0+1+1+1 = 1$$

$$B = p2 + d7 + d6 + d3 = 1+1+1+1 = 0$$

$$C = p1 + d7 + d5 + d3 = 0+1+1+1 = 1$$

Leiame sündroomi **s**:

$$A = p4 + d7 + d6 + d5 = 0+1+1+1 = 1$$

$$B = p2 + d7 + d6 + d3 = 1+1+1+1 = 0$$

$$C = p1 + d7 + d5 + d3 = 0+1+1+1 = 1$$

$$\text{Sündroom: } s = 101_2 = 5$$

Bitt numbriga 5 ehk *d5* on vigane!

Parandatud koodsõna: 1100110

Hamming (7,4)

- Genereeriv matriks

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{c} = \mathbf{dG}$$

- Süstemaatiline kood

$$\mathbf{G} = [\mathbf{I} | \mathbf{A}] = \left[\begin{array}{cccc|ccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right]$$

Paarsuskontrolli maatriks

- Saadakse genereeriva maatriksi teisendamisel

$$\mathbf{H} = [\mathbf{A}^T | \mathbf{I}] = \left[\begin{array}{cccc|ccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

- Sündroom leitakse

$$\mathbf{s} = \mathbf{H}\mathbf{c}^T$$

Hamming (7,4) – lubatud koodsõnad

sõnum	koodsõna	sõnum	koodsõna
0000	000 000	1000	100 1011
0001	000 0111	1001	100 1100
0010	001 1001	1010	101 0010
0011	001 1110	1011	101 0101
0100	010 1010	1100	110 0001
0101	010 1101	1101	110 0110
0110	011 0011	1110	111 1000
0111	011 0100	1111	111 1111

- Koodsõna on seitsmebitine, võimalike koodsõnade arv seega $2^7 = 128$
- Lubatud koodsõnu ainult 16
- Kasutusel ainult iga kaheksas

Vaheldamine (*Interleaving*)

- Vigu parandavad koodid suudavad edukalt parandada suhteliselt suurt hulka vigu, eeldusel, et vead on vastuvõetud andmetes ühtlaselt jaotunud.
- Praktikas kipuvad vead esinema suuremate gruppide e pursetena (*error burst*).
- Vaheldi (*Interleaver*) on seade mis vähendab veapursete mõju ja parandab seega vigu parandavate koodide kasutamise tõhusust. Eesmärk saavutatakse muutes enne saatmist andmete järjekorda selliselt, et järjestiku eksisteerivad andmed ei paiknes edastamisel lähestikku.

Interleaving

- Vaheldamise teostamiseks on mitmeid erinevaid viise. Antud näites vaatame plokk-vaheldit (*block interleaver*).
- Olgu edastatavaks sõnumiks järgnev tekst:

SeeOnVaheldamiseNäide

- Peale veapurset on vastuvõetud andmetest kadunud neli järjestikust sümbolit:

SeeO____eldamiseNäide

- Puuduoleva osa taastamine on raskendatud, kui mitte võimatu.

Block interleaver

- Edastatavad andmed kirjutatakse ridahaaval $n \times m$ tabelisse:

S	e	e	O	n	V	a
h	e	l	d	a	m	i
s	e	N	ä	i	d	e

- Andmed edastatakse sideliinis veergude kaupa.

ShseeeelNOdänaiVmdaie

- Selliselt ei paikne kõrvutised sümbolid edastamisel koos. Samas tekib edastamisel viide, mis on tingitud tabeli kirjutamisest enne edastamise algust ja lugemisest peale vastuvõtu lõppu.

Block interleaver

- Kui nüüd kustub edastatud jadas veapurske tõttu neli järjestikust sümbolit on tulemus järgmine:

Shse____NOdänaiVmdaie

- Vastuvõtjas on täidetud tabel kujul:

S	e	_	O	n	V	a
h	_	_	d	a	m	i
s	_	N	ä	i	d	e

- Näeme, et veapurse on peale sümbolite õige järjekorra taastamist jaotunud ühtlasemalt sõnumi peale laiali:

Se_OnVah__daamis_Näide

Lisaks lugeda

- *William Stallings. Data and Computer Communications* 8th edition. Peatükk 7 Data Link Control Protocols. lk 207 – 228.
- **Functions of LLC and MAC sub-layers of Data Link Layer.**
<http://computernetworkingsimplified.com/data-link-layer/components-data-link-layer-llc-mac/> , 21.04.2018
- Erkki Laaneoks. **Sissejuhatus võrgutehnoloogiasse.** 6 ptk. **OSI kanalikiht.**
- Columbia University. **Serial Port and Modem Cables.**
<http://www.columbia.edu/kermit/cable.html>, 21.04.2018
- **Hamming Codes – How it Works.**
<https://www.gaussianwaves.com/2008/05/hamming-codes-how-it-works/>, 21.04.2018