Aalto-yliopisto

ELEC-C3240
Elektroniikka 2

Digitaalielektroniikka-Lukujärjestelmät

Digitaalielektroniikka - tavoitteet

- Opitaan digitaalitekniikan perusasiat
- Opitaan digitaalisen elektroniikkasuunnittelun alkeismenetelmät ja -käsitteet.
- Opitaan soveltamaan alkeismenetelmiä yksinkertaisen digitaalipiirin suunnittelussa
- Luodaan pohja
  - Transistoritason digitaalipiirien suunnittelulle
  - Monimutkaisempien kokonaisuuksien laitteistokuvauskieliselle digitaalisuunnittelulle

Sisältö ja alustava aikataulu (periodi IV)

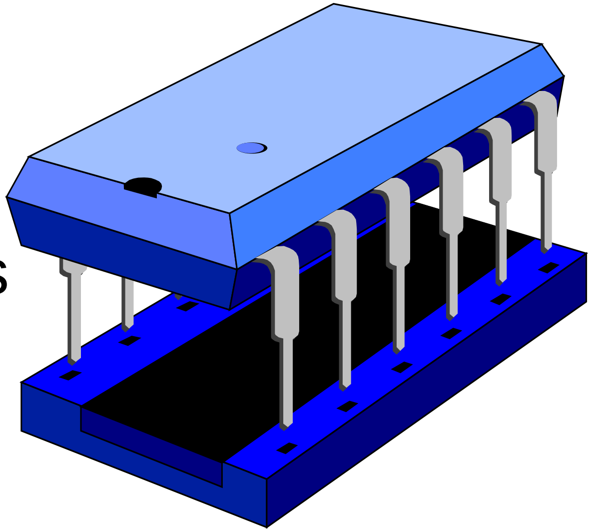
6. Luento Lukujärjestelmät	Perusteet
7. Luento Loogiset operaatiot ja boolen algebra **8. Luento** Karnaugh'n kartat	Alkeismenetelmät ja käsitteet Peruspiirien suunnittelu alkeismenetelmiä käyttäen
9. Luento Tilakoneet	Monimutkaisten kokonaisuuksien luominen
10. Luento Logiikkaporttien CMOS-toteutukset	Transistoritason suunnittelu

Digitaalielektroniikka - Oppimateriaali

- Luentomateriaali+Sedra
- Lisäksi oppikirja: Charles R. Kime & M. Morris Mano: Logic and Computer Design Fundamentals 4th edition, Pearson Educ., USA, 2008,
  ISBN 0-13-0198926-X
- Myös vanhemmat versiot käyvät
- Kirja on huomattavasti laajempi kuin kurssi
- Aiheet tärkeämpiä kuin lähde. Tietoa runsaasti saatavilla.

Muita digitaalielektroniikan kursseja

- ELEC-E3520 Digital Microelectronics I (5 op)
  - Digitaalisuunnittelu transistoritasolta sovelluksiin
  - Nopeus-tehonkulutus optimointi, ja optimoitimenetelmät
  - Yleisimmät piirirakenteet
  - Yleisimmät aritmeettiset lohkot
- ELEC-E3540 Digital Microelectronics II (5 op)
  - Laitteistokuvauskielinen digitaalisuunnittelu
  - Mikroprosessorin rakenne ja toteutus.
  - Suunnitellaan ja toteutetaan mikrokontrolleri VHDL-laitteistokuvauskiellellä.



Johdatus digitaaliseen elektroniikkaan

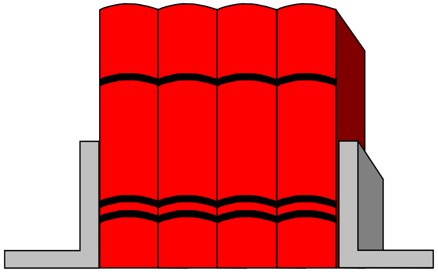
- Digitaalielektroniikka = numeerista tekniikkaa
- Luotu/syntynyt laskentaa varten
- Sattuman kautta syntynyt yhdistelmä, jossa sovelletaan logiikan matemaattista esitysmuotoa ja binäärilukuaritmetiikkaa
  - Gottfried Leibniz, 1679, Binääriluvut
  - George Boole, 1847, Logiikan sääntöjen matemaattinen esitys. Boolen algebra.
  - Augustus De Morgan, Boolen kaveri, Logiikan sievennyssäännöt.

Luennon oppimistavoite

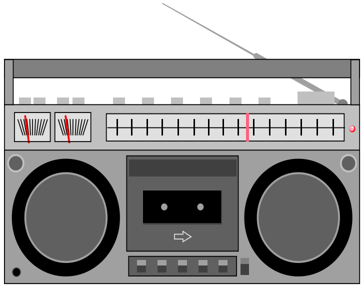
- Ymmärtää, mihin digitaalista elektroniikkaa käytetään (0,5h)
- Tuntee 10, 2,8 ja 16 kantaisten lukujen esitysmuodot (0,5h)
- Tuntee kiinteän pilkun binaarilukujen esitysmuodot ja osaa tehdä muunnokset esitysmuotojen välillä (1h)
- Osaa tehdä laskutoimituksia binäärilukujen eri esitysmuodoilla. (1h)

Kuormitus: Luento+laskari+itseopiskelu=2+2+4=8h

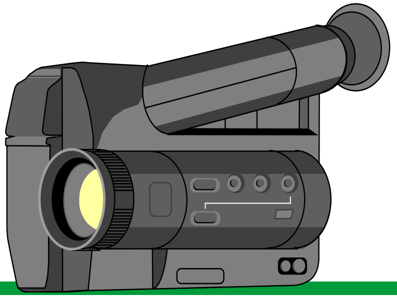
Digitaalielektroniikan sovellukset
Tiedon esittäminen ja käsittely



- Tiedon merkitys nyky-yhteiskunnassa
- Tiedon lajit
  - teksti
  - luvut, taulukot ja tilastot
  - ääni
  - liikkumaton kuva
  - liikkuva kuva
  - yhdistelmätieto (multimedia)



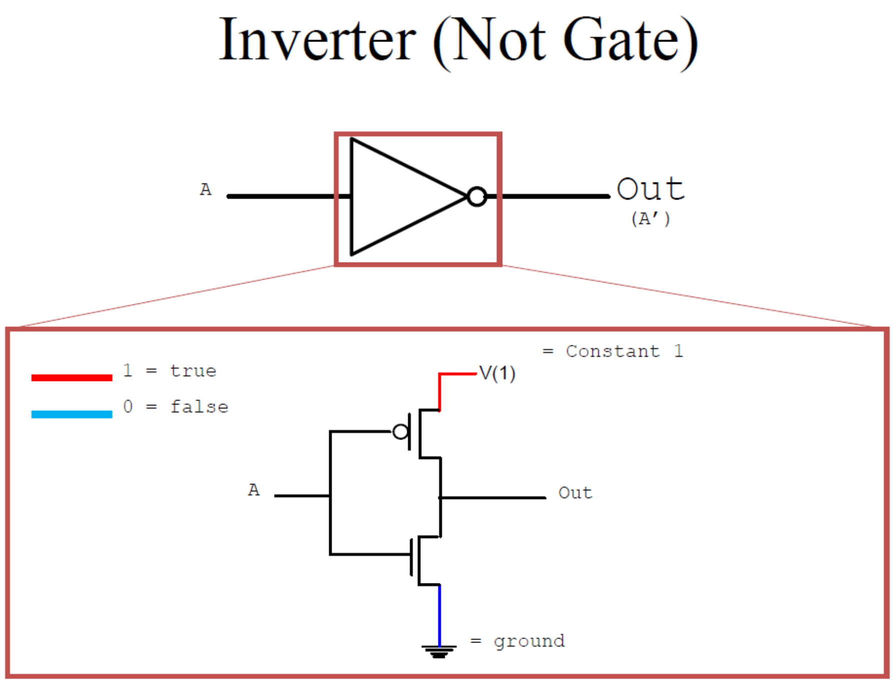
- Tiedon **esittäminen**
- Tiedon **tallettaminen**
- Tiedon **siirtäminen**
- **LASKENTA->Mikroprosessorit**



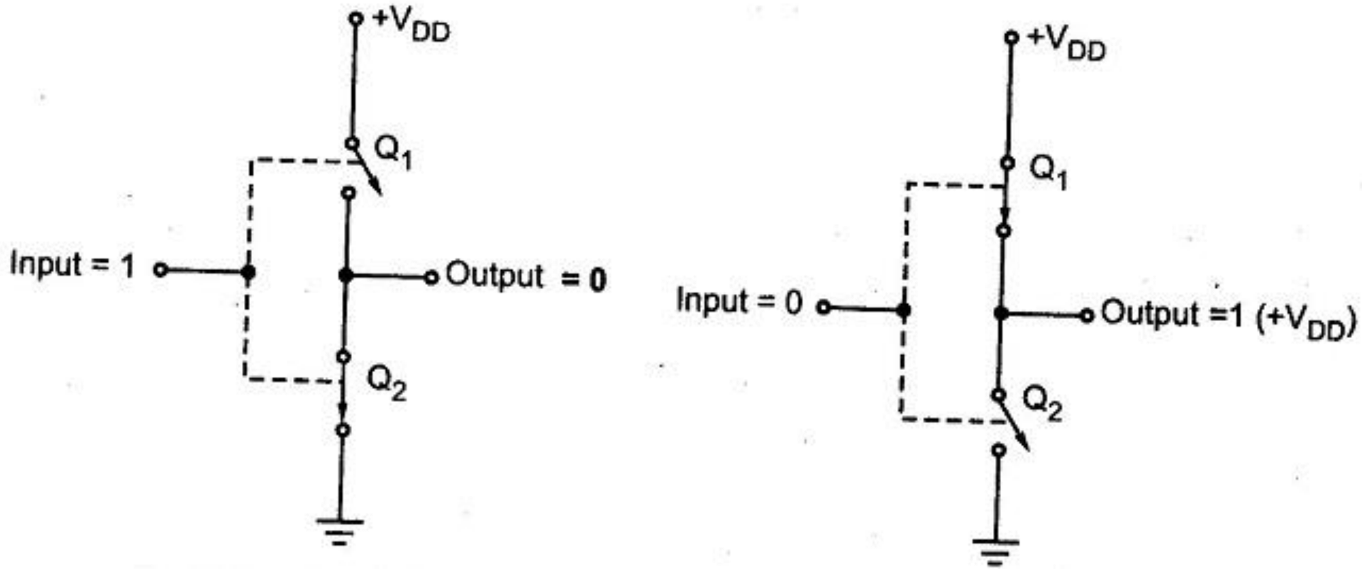
Tiedon esitystavat

- Analoginen: **kaikki** arvot mahdollisia
  - Esimerkki VHS-kasetti
  - Laskenta analogista elektroniikkaa
  - Kohinaongelmat, häiriönsietoisuus, kuluminen
- Digitaalinen: vain **äärellinen määrä** eri vaihtoehtoja on sallittu
  - Esimerkki DVD-levy
  - Yleensä laitteet käyttävät ainakin sisäisesti binäärilukuja, jotka koostuvat biteistä
  - yhden bitin tiedolla on kaksi arvoa: **symbolit** 0 ja 1
  - kun tarvitaan enemmän vaihtoehtoja, käytetään **koodausta**: useita bittejä **ryhmiteltyinä**
  - **Laskentaan tarvitaan vain kytkimiä-> mistä pieni ja nopea kytkin?->transistori.**

Digitaalilogiikan perusperiaate: Transistori kytkimenä



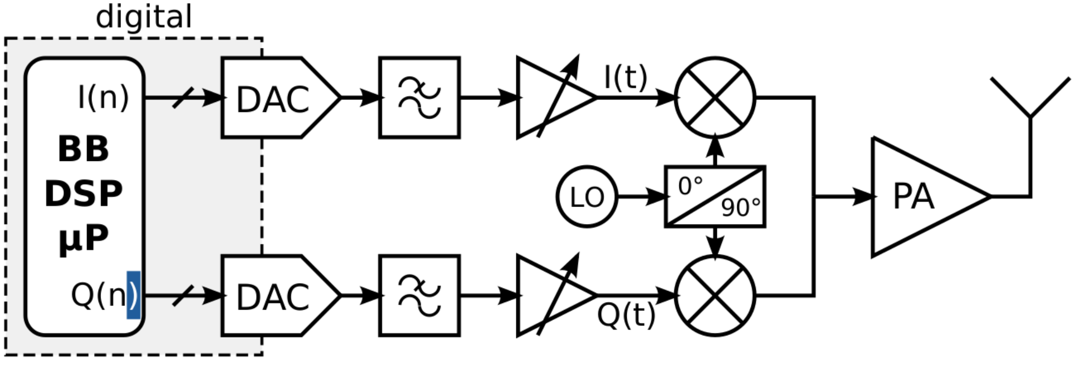
Digitaalilogiikan perusperiaate: Transistori kytkimenä



- Kaikki digitaalilogiikka perustuu samaan ideaan!

Analogisen tallennuksen ja siirron (=elektroniikan) ominaisuudet

- **ANALOGIAELEKTRONIIKKA ON SIGNAALINKÄSITTELYÄ**
- Esimerkkinä radiolähetin:

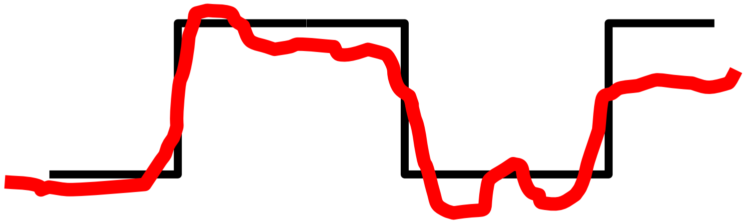


Analogisen tallennuksen ja siirron (=elektroniikan) ominaisuudet

- **ANALOGIAELEKTRONIIKKA ON SIGNAALINKÄSITTELYÄ**

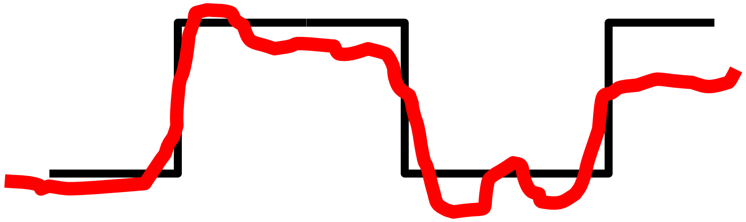
- Signaali **vääristyy** tallennettaessa
  - Tallennettu signaali **vaimenee** ja **vääristyy**, "kuluu" ajan mukana
  - Toistettaessa saadaan esille vääristynyt signaali
- Signaali **vaimenee** ja **vääristyy** siirrettäessä
- Vahvistettaessa signaalia vahvistetaan myös häiriöitä
- Häiriötyyppejä:
  - särö
  - kohina
  - hurina
  - impulssihäiriöt
- Vääristymiä voidaan estää tai korjata vain **hyvin rajoitetusti**, koska vääristymää ei voida erottaa varsinaisesta signaalista

Digitaalisen tallennuksen ja siirron (=elektroniikan) ominaisuudet



- Digitaalinen signaali/bitti on analoginen signaali, kyse on vain päätöksestä tulkita signaali joko 1 tai 0
- Pienet vääristymät eivät yleensä haittaa, bitti tulkitaan edelleen alkuperäisellä tavalla
- Mikäli häiriö on hyvin voimakas, syntyy **bittivirheitä**
  - virheellisten bittien osuus kaikista eli **virhesuhde**
  - käytännössä esim, puheen siirrossa 10^{-5}...10^{-6} (sähköinen siirto) tai jopa 10^{-9} (optinen siirto)
  - virheen korjaava koodaus saattaa korjata, jos virheitä ei ole paljon
- **DIGITAALIEEKTRONIIKKA ON SIGNAALINKÄSITTELYÄ**
- **Digitaalielektroniikan häiriömekanismit ovat analogisia**

Digitaalisen tallennuksen ja siirron (=elektroniikan) ominaisuudet



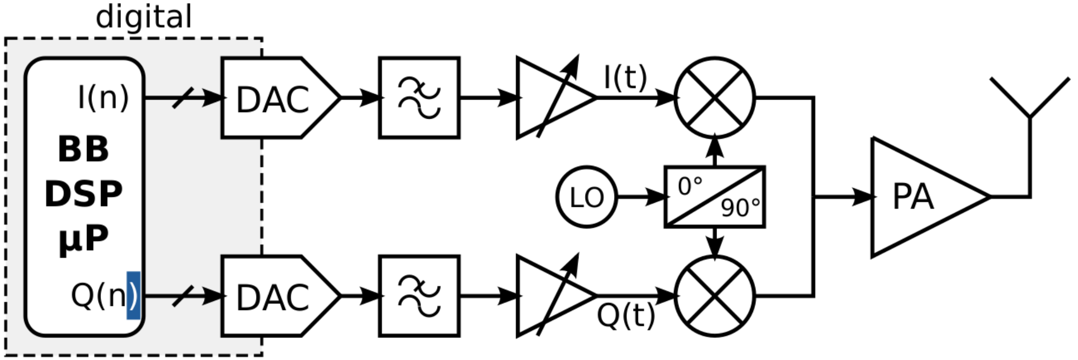
- Digitaalinen signaali/bitti on analoginen signaali, kyse on vain päätöksestä tulkita signaali joko 1 tai 0
- Pienet vääristymät eivät yleensä haittaa, bitti tulkitaan edelleen alkuperäisellä tavalla

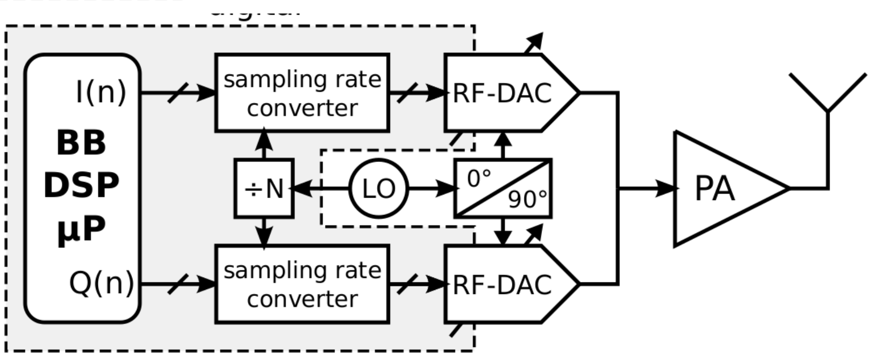
→ Niin kauan kun bittivirheitä ei synny, digitaaliset piirit eivät vääristä signaalia!

→ **Mahdollistaa monimutkaisen signaalin prosessoinnin**

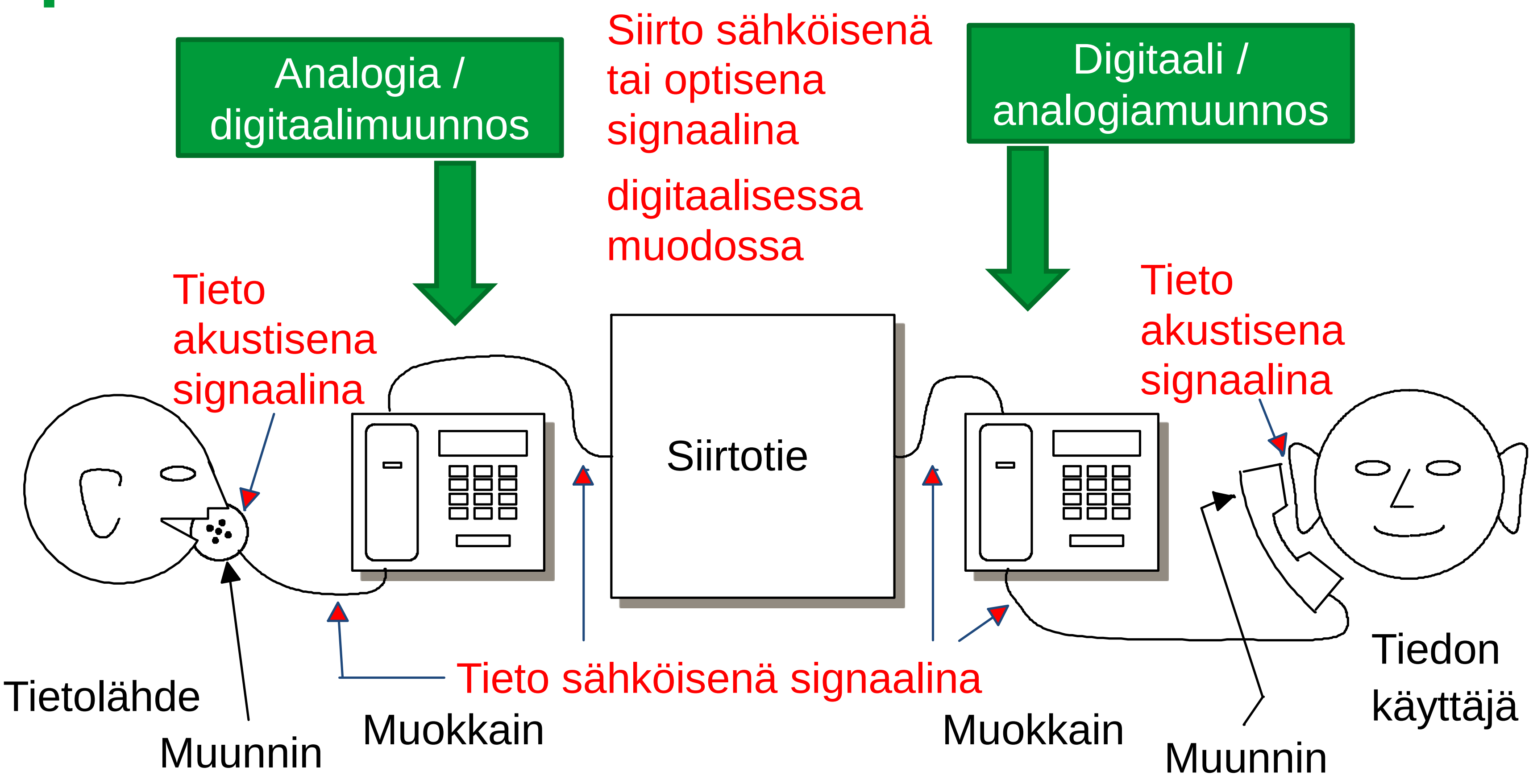
Digitaalisen tallennuksen ja siirron (=elektroniikan) ominaisuudet

- **DIGITAALIEEKTRONIIKKA ON SIGNAALINKÄSITTELYÄ**
- Esimerkkinä radiolähetin:

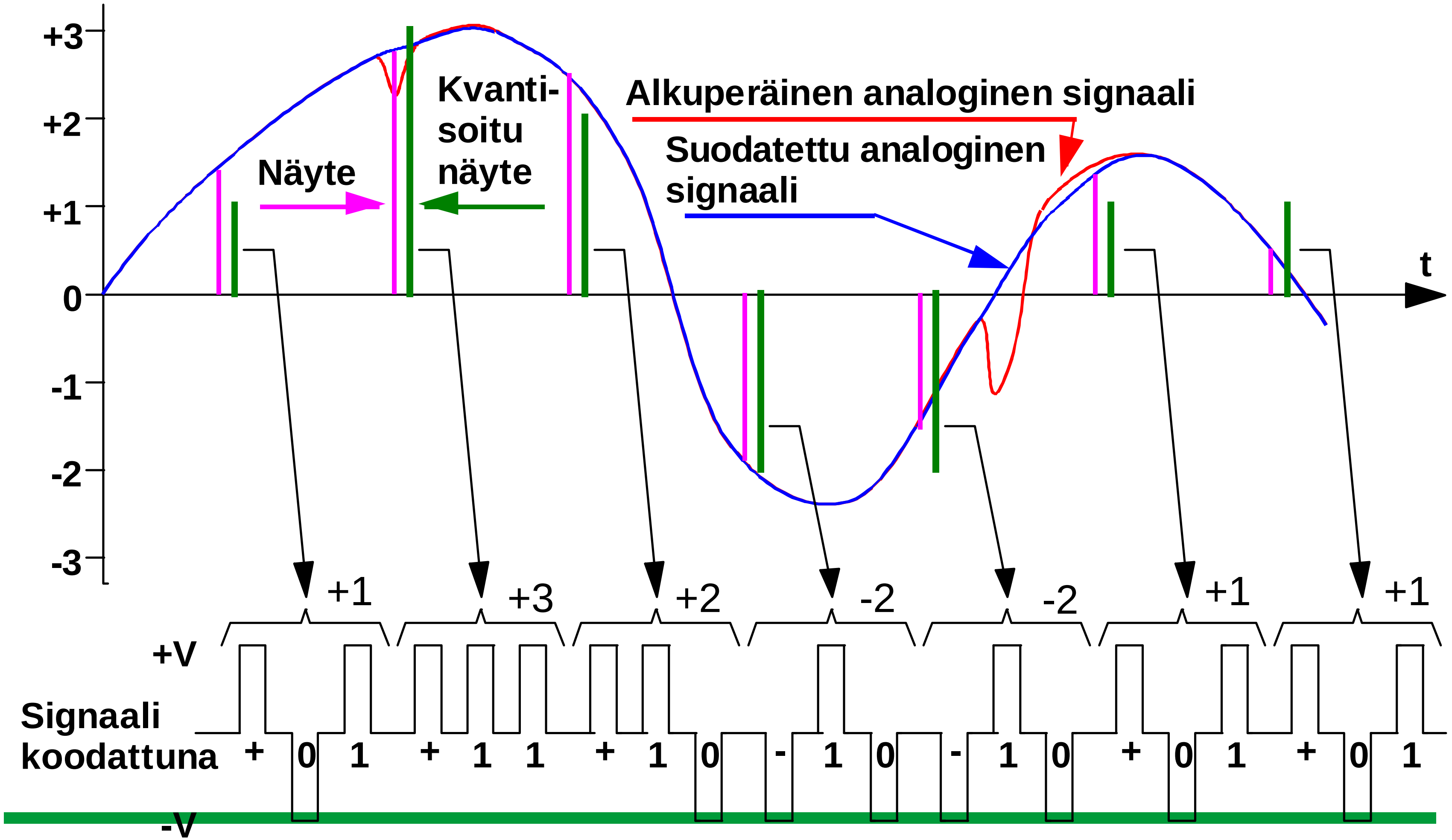




Esimerkki: puheen siirto puhelinverkossa

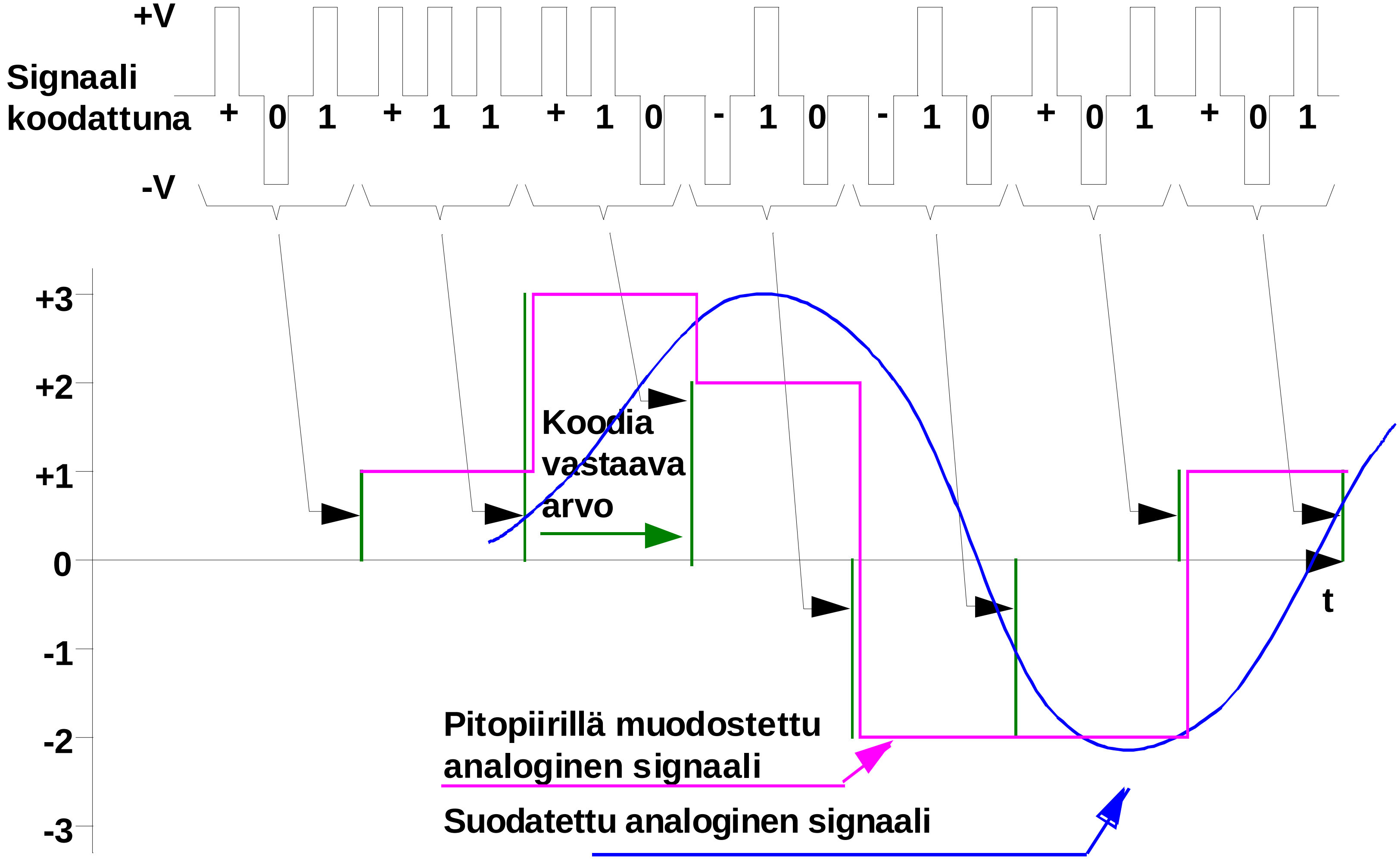


Analogia-digitaalimuunnos

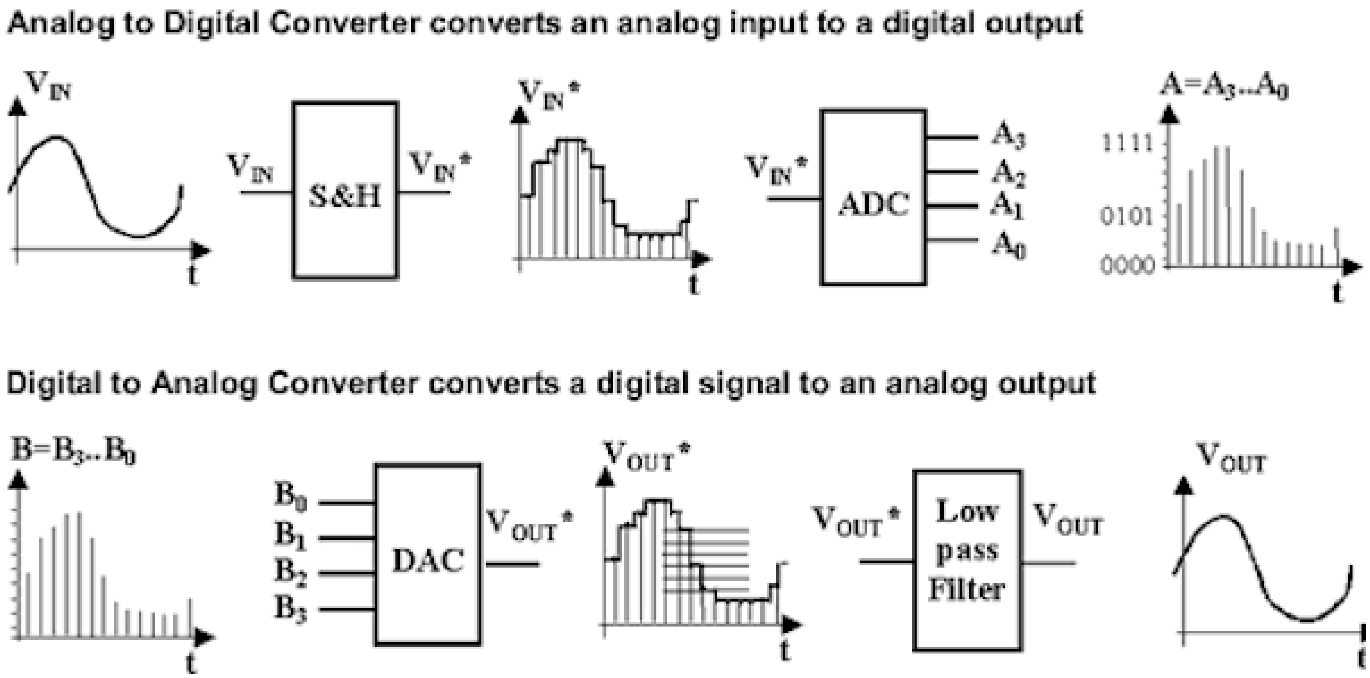


Aalto-yliopisto

Digitaalianalogiamuunnos



A/D ja D/A muunnos (selkeämmät kuvat)



Lukujärjestelmät

Lukujärjestelmät

- 10-järjestelmä: se, jota yleensä käytetään
- Kantaluku 10
- Tutkitaan hiukan rakennetta:

0
1
2 10 merkkiä: 0…9
3
4
5
6
7
8
9
10 Kun merkit käytetty, aletaan käyttää
11 kahta merkkiä: 10, 11, …
12

Lukujärjestelmät

- Kymmenjärjestelmä: kantaluku 10
- Numerot: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ja 9
- Esitystapa: ... $a_4\ a_3\ a_2\ a_1\ a_0\ ,\ a_{-1}\ \ a_{-2}\ \ a_{-3}$ …
- Tulkinta:

$$A = \sum_i a_i \cdot 10^i$$

Esimerkki:
724.5
$= 7 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0 + 5 \cdot 10^{-1}$

Lukujärjestelmät

- Verrataan 10- ja 5-järjestelmiä:

0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	10
6	11
7	12
8	13
9	14
10	20
11	21
12	22

5 merkkiä: 0…4

Kun yksi merkki ei riitä, käytetään useampaa merkkiä: 10, 11, …

Huom!

Luvun muuntaminen kymmenjärjestelmään

$$X = x_0 \cdot B^0 + x_1 \cdot B^1 + x_2 \cdot B^2 + \ldots$$

Esim.

a) 5-järjestelmän 14_5

$$\left.\begin{aligned} & 1 \cdot 5^1 + 4 \cdot 5^0 \\ &= 1 \cdot 5 + 4 \cdot 1 \\ &= 9 \end{aligned}\right\} \text{Tämä on jo kokonaan kymmenjärjestelmää}$$

b) 6-järjestelmän 342_6

$$\begin{aligned} & 3 \cdot 6^2 + 4 \cdot 6^1 + 2 \cdot 6^0 \\ &= 3 \cdot 36 + 4 \cdot 6 + 2 \cdot 1 \\ &= 134 \end{aligned}$$

Lukujärjestelmät

Digitaalitekniikassa tärkeitä lukujärjestelmiä:

- Kaksi- eli binäärijärjestelmä: numerot 0 ja 1
- Kahdeksan- eli oktaalijärjestelmä: numerot: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 ja 7
- Kuusitoista- eli heksadesimaalijärjestelmä:

  numerot: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E ja F
- Kantaluvun ilmaisu:
  - alaindeksi luvun perään, esim. 10101_2 tai $(175)_8$
  - kirjain luvun perään, esim. 10101B , 175O , 94D , F5DH
  - lukemattomia muita tapoja esim. ohjelmointikielissä

Lukujärjestelmät

- Miksi nämä järjestelmät?
  - Kaksijärjestelmän numerot 0 ja 1 vastaavat digitaalisen signaalin tiloja
- 2-järjestelmän luvut ovat pitkiä, joten 8- ja 16-järjestelmän luvut ovat 2-järjestelmän lukuja havainnollisempia
  - Niitä käytetään suunnittelijan ja ohjelmoijan apuna
  - Muunnos 2-järjestelmän ja 8-järjestelmän välillä helppo, samoin 2-järjestelmän ja 16-järjestelmän
- Kuitenkin: Kytkimet prosessoivat vain “ykkösiä” ja “nollia”
- Täten on tärkeää osata muuntaa lukuja binäärijärjestelmän ja kymmenjärjestelmän välillä

Lukujärjestelmämuunnokset

- Muunnokset binääri ↔ oktaali ja binääri ↔ heksadesimaali
- Koska $8 = 2^3$ ja $16 = 2^4$, muunnokset ovat helppoja ja tehdään **bittejä ryhmittelemällä** ja muuntamalla kukin **ryhmä erikseen**

Esimerkki: Muunna binaariluku 11101111101010.11001 oktaali- ja heksadesimaaliluvuksi

Lisätään nollat

Oktaaliluvuksi: 011 101 111 101 010.110 010

3 5 7 5 2 . 6 2

Lisätään nollat

Heksadesimaaliluvuksi: 0011 1011 1110 1010.1100 1000

3 B E A . C 8

Oktaali ja heksadesimaaliesitykset ovat <u>vain</u> binäärilukuesityksen yksinkertaistuksia

Esimerkki luvuista eri järjestelmissä

Desimaali	Heksadesimaali	Oktaali	Binääri
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	10
3	3	3	11
4	4	4	100
5	5	5	101
6	6	6	110
7	7	7	111
8	8	10	1000
9	9	11	1001
10	A	12	1010
11	B	13	1011
12	C	14	1100
13	D	15	1101
14	E	16	1110
15	F	17	1111

Muunnos kymmenjärjestelmästä

- Muunnos kymmenjärjestelmästä muuhun järjestelmään
  - kokonaisosa erikseen
  - desimaaliosa erikseen
  - lopuksi tulokset yhdistetään
- Kokonaisosan muunnosalgoritmi
  - jaetaan muunnettavaa lukua jatkuvasti muun järjestelmän kantaluvulla
  - muunnostulos saadaan jakojäännöksistä
- Desimaaliosan muunnosalgoritmi
  - kerrotaan muunnettavaa lukua jatkuvasti muun järjestelmän kantaluvulla
  - muunnostulos saadaan kokonaisosista

Muunnos kymmenjärjestelmästä

Esimerkki: Muunna 999.578125_{10} kaksijärjestelmään

Kokonaisosa:

999 / 2 = 499 jää 1 (LSB)
499 / 2 = 249 jää 1
249 / 2 = 124 jää 1
124 / 2 = 62 jää 0
62 / 2 = 31 jää 0
31 / 2 = 15 jää 1
15 / 2 = 7 jää 1
7 / 2 = 3 jää 1
3 / 2 = 1 jää 1
1 / 2 = 0 jää 1 (MSB)

Luetaan tästä!

$999_{10} = 1111100111_2$

Muunnos kymmenjärjestelmästä

Esimerkki: Muunna 999.578125_{10} kaksijärjestelmään

Desimaaliosa :

Luetaan tästä, 0.xxxxxx

0.578125	x 2 = 0.15625 + 1
0.15625	x 2 = 0.3125 + 0
0.3125	x 2 = 0.625 + 0
0.625	x 2 = 0.25 + 1
0.25	x 2 = 0.5 + 0
0.5	x 2 = 0.0 + 1

Saadaan: $0.578125_{10} = 0.100101_2$

Yhdistetään: $999.578125_{10} = 1111100111.100101_2$

Muunnos kymmenjärjestelmästä

- Desimaaliosan muunnos ei välttämättä pääty
- Tarvittaessa pyöristetään kymmenjärjestelmän lukua vastaavaan tarkkuuteen: kolmea desimaalia vastaa kymmenen bittiä ($2^{10}=1024$)

Esimerkki: Muunna 0.3 kaksijärjestelmään

1 desimaali → 4-bittiä ($2^3 = 8$ ei riitä, $2^4 = 16$)

0.3 x 2 = 0.6 + 0
0.6 x 2 = 0.2 + 1
0.2 x 2 = 0.4 + 0
0.4 x 2 = 0.8 + 0

0.8 x 2 = 0.6 +1
0.6 x 2 = 0.2 + 1

Saadaan siis: $0.3_{10} = 0.0100_2$

Kaksi- eli binäärijärjestelmä

Kaksijärjestelmän numeroita nimitetään biteiksi

Merkintätapa kuten kymmenjärjestelmän luvuilla

$$B \quad b_n \; b_{n-1} \; b_{n-2} \ldots b_1 \; b_0 \,.\, b_{-1} \; b_{-2} \ldots b_{-m}$$

MSB

Binääri-
piste tai -pilkku

LSB

Tulkinta:

$$B = \sum_{i=n}^{-m} b_i \cdot 2^i$$

Esimerkki:
101.1_2
$= 1 \cdot 2^2 \quad + 0 \cdot 2^1 \quad + 1 \cdot 2^0 \quad + 1 \cdot 2^{-1}$

Aalto-yliopisto

MSB = most significant bit

LSB = least significant bit

Laskutoimitukset binääriluvuilla

- Esimerkkejä:

Yhteenlasku

```
1  11
  10110
+10011
------
101001
```

Vähennyslasku

```
    11
 10110
-10011
------
 00011
```

Kertolasku

```
   1011
  x 101
-------
   1011
  0000
 1011
-------
 110111
```

Binääriluvut

- Luvun esittämiseen on käytettävissä tietty **vakiomäärä** tai sen **monikerta** bittejä, esim. 8, 16 tai 32
- Bittimäärä = **sanapituus**
- <u>**Bittijonon merkitys riippuu notaatiosta**</u>
  - kokonaislukuja
  - kiinteän pilkun lukuja
  - liukuvan pilkun lukuja
  - jotain ihan muita bittijonoja

0	1	0	1	1	0	0	0

- Toisaalta ne voivat olla
  - aina positiivisia (etumerkittömiä, unsigned)
  - etumerkillä varustettuja

Binääriluvut

Esimerkkejä:

- 8-bittinen **etumerkitön kokonaisluku**

0	1	0	1	1	0	0	0

Suuruus

Luku = $1011000_2 = 88_{10}$

- 16-bittinen **etumerkillä varustettu** kokonaisluku

1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0

Suuruus

Merkkibitti

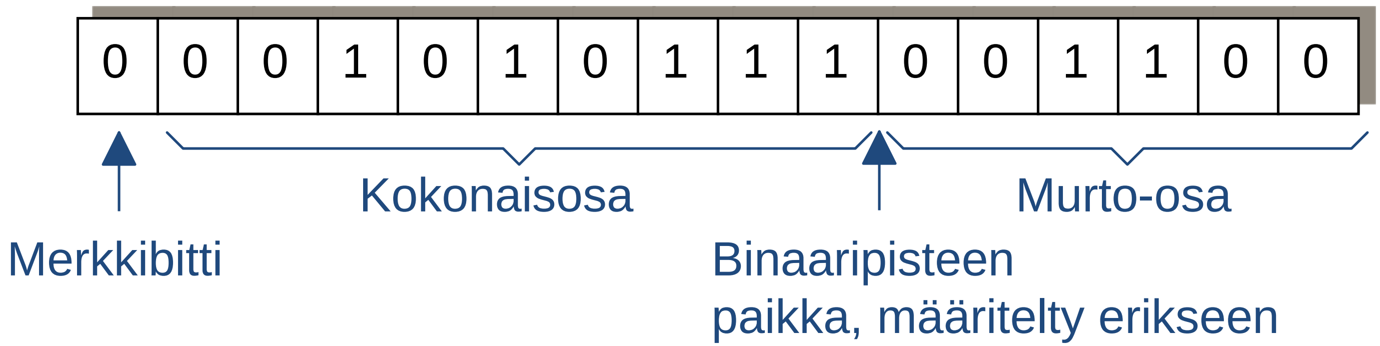
Merkkibitti ilmoittaa luvun etumerkin, yleensä 0 = + ja 1 = -

Luku = $-101011100100100_2 = -22308_{10}$

Binääriluvut

Esimerkki:

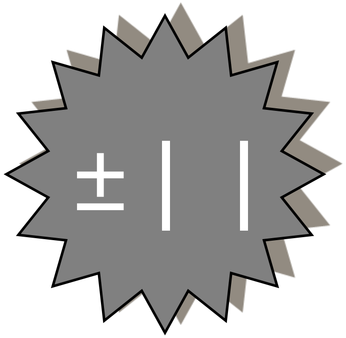
- 16-bittinen etumerkillä varustettu **kiinteän pilkun luku**



Luku = $1010111.0011_2 = 87.1875_{10}$

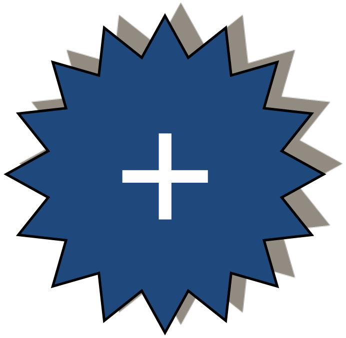
Etumerkilliset binääriluvut

- Etumerkki-itseisarvoesitys
  - tuttu 10-järjestelmästä
  - monimutkaiset yhteen- ja vähennyslaskualgoritmit
  - yksinkertainen kertolaskualgoritmi
- 1:n komplementtiesitys
  - melko harvinainen
  - suhteellisen yksinkertaiset yhteen- ja vähennyslaskualgoritmit
- 2:n komplementtiesitys
  - yleisin esitystapa digitaalilaitteissa
  - erittäin yksinkertaiset yhteen- ja vähennyslaskualgoritmit

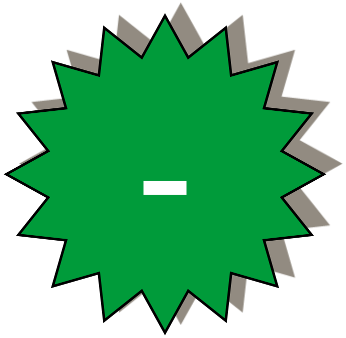


Etumerkilliset binääriluvut

- Positiivisten lukujen esitys
  - merkkibitti = 0
  - **samanlainen** etumerkki-itseisarvoesityksessä ja komplementtiesityksissä
  - suuruusosa ilmaisee luvun arvon
  - esityksen tulkinta kuten edellä olleissa esimerkeissä



- Negatiivisten lukujen esitys
  - merkkibitti = 1
  - muutoin **erilainen** eri esitystavoissa
  - etumerkki-itseisarvoesityksessä suuruusosa on luvun **itseisarvo**
  - komplementtiesityksissä suuruusosa on luvun **itseisarvon komplementti**



Komplementtimuotoinen esitystapa

Positiiviset luvut

suoraan luvun itseisarvo!

Negatiiviset luvut

itseisarvon komplementti

Aalto-yliopisto

Binäärilukujen esitys

Desimaali-luku	Etumerkki-itseisarvo	1:n komple-mentti	2:n komple-mentti
+7	0111	0111	0111
+6	0110	0110	0110
+5	0101	0101	0101
+4	0100	0100	0100
+3	0011	0011	0011
+2	0010	0010	0010
+1	0001	0001	0001
+0	0000	0000	0000

Binäärilukujen esitys

Desimaali-luku	Etumerkki-itseisarvo	1:n komple-mentti	2:n komple-mentti
- 0	1000	1111	-
- 1	1001	1110	1111
- 2	1010	1101	1110
- 3	1011	1100	1101
- 4	1100	1011	1100
- 5	1101	1010	1011
- 6	1110	1001	1010
- 7	1111	1000	1001
- 8	-	-	1000

Binäärilukujen esitys

Desimaali-luku	Etumerkki-itseisarvo	1:n komple-mentti	2:n komple-mentti
+7	0111	0111	0111
+6	0110	0110	0110
+5	0101	0101	0101
+4	0100	0100	0100
+3	0011	0011	0011
+2	0010	0010	0010
+1	0001	0001	0001
+0	0000	0000	0000
- 0	1000	1111	-
- 1	1001	1110	1111
- 2	1010	1101	1110
- 3	1011	1100	1101
- 4	1100	1011	1100
- 5	1101	1010	1011
- 6	1110	1001	1010
- 7	1111	1000	1001
- 8	-	-	1000

Binäärilukujen yhden komplementti

- Olkoon positiivinen kokonaisluku B
- Lukujen esityspituus on n bittiä

- -B **1:n komplementti** muodossa on

  $C_{1,n}$ (B) = 2^n - 1 – B

  Esim: C1,15 (B) = 2^{15} - 1 - B

- Usko tai älä, mutta 1:n komplementti muodostetaan invertoimalla kaikki bitit.
- Jos B:ssä on vähemmän kuin n bittiä, **lisätään** alkuun **nollia ennen invertointia.**

Binäärilukujen yhden komplementti

Esim. 4-bitin esityksellä

$B_{10} = -5$

$Abs(B_2)$	=	0101
$B_{2,1}$	=	1010

Binäärilukujen esitys

Desimaali-luku	Etumerkki-itseisarvo	1:n komple-mentti	2:n komple-mentti
+7	0111	0111	0111
+6	0110	0110	0110
+5	0101	0101	0101
+4	0100	0100	0100
+3	0011	0011	0011
+2	0010	0010	0010
+1	0001	0001	0001
+0	0000	0000	0000
- 0	1000	1111	-
- 1	1001	1110	1111
- 2	1010	1101	1110
- 3	1011	1100	1101
- 4	1100	1011	1100
- 5	1101	1010	1011
- 6	1110	1001	1010
- 7	1111	1000	1001
- 8	-	-	1000

Binäärilukujen kahden komplementti

- Olkoon positiivinen kokonaisluku B
- Lukujen esityspituus on n bittiä
- -B **2:n komplementti** muodossa on

$C_{2,n}(B) = 2^n - B$

Esim: $C_{2,8}(B) = 2^8 - B$

- Ei niin helppoa asiaa, ettei sitä saisi kaavalla vaikeaksi
- Kahden komplementissa invertoidaan kaikki bitit ja lisätään yksi.
- Siis yhden komplementti, johon on lisätty yksi.

Binäärilukujen kahden komplementti

Esim. 4-bitin esityksellä

$B_{10} = -5$

$Abs(B_2)$	=	0101
$B_{2,1}$	=	1010
$B_{2,2}$	=	1011

Binäärilukujen esitys

Desimaali-luku	Etumerkki-itseisarvo	1:n komple-mentti	2:n komple-mentti
+7	0111	0111	0111
+6	0110	0110	0110
+5	0101	0101	0101
+4	0100	0100	0100
+3	0011	0011	0011
+2	0010	0010	0010
+1	0001	0001	0001
+0	0000	0000	0000
- 0	1000	1111	-
- 1	1001	1110	1111
- 2	1010	1101	1110
- 3	1011	1100	1101
- 4	1100	1011	1100
- 5	1101	1010	1011
- 6	1110	1001	1010
- 7	1111	1000	1001
- 8	-	-	1000

Binäärilukujen esitys

Desimaali-luku	Etumerkki-itseisarvo	1:n komple-mentti	2:n komple-mentti
+7	0111	0111	0111
+6	0110	0110	0110
+5	0101	0101	0101
+4	0100	0100	0100
+3	0011	0011	0011
+2	0010	0010	0010
+1	0001	0001	0001
+0	0000	0000	0000
- 0	1000	1111	-
- 1	1001	1110	1111
- 2	1010	1101	1110
- 3	1011	1100	1101
- 4	1100	1011	1100
- 5	1101	1010	1011
- 6	1110	1001	1010
- 7	1111	1000	1001
- 8	-	-	1000

Miksi komplementtiesitys?

- **Laskennan vuoksi!**
- **Komplementtiesityksissä vähennyslasku on positiivisen ja negatiivisen luvun yhteenlasku.**
- **Helppo toteuttaa, sama logiikka toimii sekä yhteen että vähennyslaskussa.**

- **Kahden komplementissa vain yksi nolla!**
- **Numeron etumerkin vaihto summaimessa helppoa.**
  - **Vähennyslaskuyksikön vähennettävän sisääntulossa kaikki bitit käännetään, ja summaimen alimpaan muistinumerotuloon syötetään ‘1’.**

Komplementtimuotoisten binaarilukujen muuntaminen kymmenjärjestelmään

1. Muutetaan etumerkki-itseisarvoesitykseen
2. Muunnetaan kymmenjärjestelmän luvuksi määritelmän mukaan summakaavalla, kuten edellä on esitetty
3. Etumerkki määräytyy merkkibitin mukaan

- 2:n komplementtimuotoiselle luvulle on toinenkin tapa
  - käytetään suoraan etumerkki-itseisarvoesityksen summakaavaa, mutta otetaan merkkibitti mukaan **miinusmerkkisenä**

Komplementtimuotoisten binaarilukujen muuntaminen kymmenjärjestelmään

- Vaihtoehtoinen (mahdollisesti helpompi) laskutapa on lähteä liikkeelle 2:n komplementista
- Esim. $1101_{2,2}$ on kymmenjärjestelmässä

$$1101_{2,2} = \mathbf{-2^{n-1}*b(3)} + 2^{n-2}*b(2) + 2^{n-3}*b(1) + 2^{n-4}*b(0)$$

$$= -8 + 4 + 0 + 1$$

$$= -3_{10}$$

- Esim. $1101_{2,2}$ **1:n komplementti** on

$1101_{2,1} = 1101_{2,2} + 1 = -3 + 1 = -2_{10}$

Aalto-yliopisto

Komplementtimuotoisten binaarilukujen muuntaminen kymmenjärjestelmään

- Lasketaan vielä muutama esimerkki 4-bitin 2:n komplementti esityksellä
- 7-4 = 7 + (-4) = 3 4-7 = 4 + (-7) = -3

1	1			
	0	1	1	1
	1	1	0	0
	0	0	1	1

	0	1	0	0
	1	0	0	1
	1	1	0	1

Ylimääräinen kantobitti jolla ei ole vaikutusta lopputulokseen kun lasketaan (+- tai -+), pitää ottaa huomioon kun (++ tai --)

Luennon oppimistavoite

- Ymmärtää, mihin digitaalista elektroniikkaa käytetään (0,5h)
- Tuntee 10, 2,8 ja 16 kantaisten lukujen esitysmuodot (0,5h)
- Tuntee kiinteän pilkun binaarilukujen esitysmuodot ja osaa tehdä muunnokset esitysmuotojen välillä (1h)
- Osaa tehdä laskutoimituksia binäärilukujen eri esitysmuodoilla. (1h)

Kuormitus: Luento+laskari+itseopiskelu=2+2+4=8h