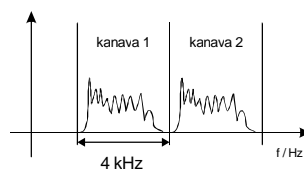


## *Kanavointi ja PCM järjestelmä*

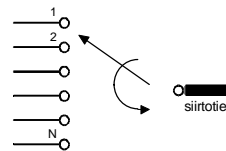
- ✓ **Kanavointi**
- ✓ **PCM ~ Pulse Code Modulation**
  - § Näytteenotto
  - § Kvantisointi
    - Lineaarinen
    - Epälineaarinen
  - § Kvantisointisärö
- ✓ **TDM-kanavointi**
  - § PCM-kehysrakenne, CRC4 -ylikehys
  - § PCM 30, PCM 120, PCM 480, PCM 1920
  - § PCM-johtokoodit

## *Kanavointi pakkaa yhteyksiä "johdolle"*

- ✓ **Kanavoinnille on periaatteessa kolme vaihtoehtoista tapaa**
  - § Taajuusjakoinen kanavointi FDM
  - § Aikajakoinen kanavointi TDM
  - § Koodijakoinen kanavointi CDM
- ✓ **Kanavoinnissa pyritään hyödyntämään olemassa olevaa siirtoyhteyttä tehokkaammin.**



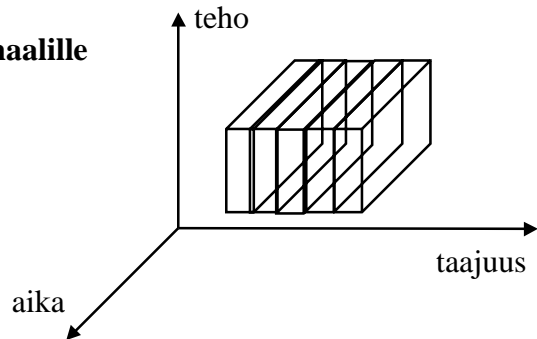
FDM-periaate



TDM-periaate

## *Frequency Division Multiplexing*

- ✓ Perustuu kanta-aaltoon, jota moduloidaan lähetettävällä signaalilla
- ✓ Puheensirrossa käytettävä kaistanleveys on 4kHz
- ✓ Yksittäisten yhteyksien erotteluun tarvitaan ainoastaan kaistanpäästösuodatin
- ✓ Soveltuu analogiselle signaalille



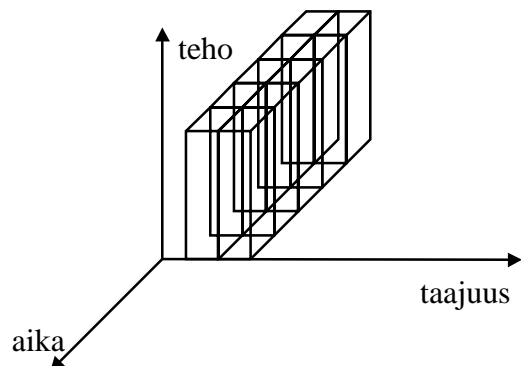
© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 3

## *Time Division Multiplexing*

- ✓ Aikajakoinen välitystekniikka, joka perustuu näytteistykseen ja näyteiden lomittamiseen yhdelle siirtoyhteydelle.
- ✓ Käytetään yleisimmin televerkossa
- ✓ Soveltuu digitaalisen informaation siirtoon



© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 4

## Näytteenotto

### ✓ Nyquistin teoreema

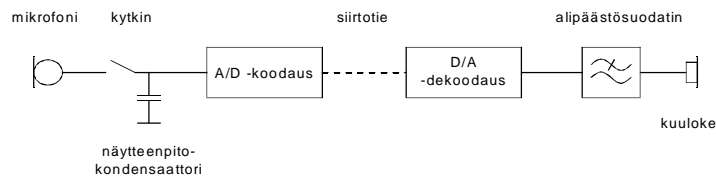
§ Jos taajuusrajoitettua analogista signaalia näytteistetään säännöllisesti vähintään kaksinkertaisella taajuudella signaalin korkeimpaan taajuuskomponenttiin nähden, sisältää se kaiken informaation alkuperäisestä signaalista. Alkuperäinen signaali voidaan muodostaa uudelleen alipäästösuodattimella.

✓ Puheensirrossa on määritelty käytettäväksi taajuusalueeksi 300-3400Hz, jolloin tarvittava näytteenotto taajuus on 6,8kHz.

✓ Käytännössä, koska analogisissa järjestelmissä siirtokanava on 4kHz, käytetään digitaalisissa järjestelmissä 8kHz näytteenottoa.

## Digitaalinen puheensirto

- ✓ Siirtoyhteys on periaatteessa yksinkertainen mikrofoni, A/D-muunnin, D/A-muunnin ja kaiutin
- ✓ Tosiasiassa joudutaan signaalia käsittelemään ennen varsinaista muunnosta

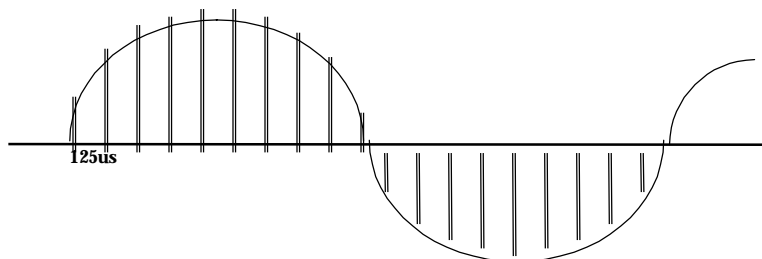


## *Pulse Code Modulation - PCM*

- ✓ PCM:n idea on analogisen puhekanavan digitoiminen digitaalisiin kytkentä- ja siirtojärjestelmiin sopivaksi.
- ✓ PCM menetelmä on keksitty jo vuonna 1937 mutta ensimmäiset todelliset sovellutukset tulivat transistoritekniikan myötä 1960-luvulla.
- ✓ PCM-muunnoksella on neljä vaihetta:
  - § Suodatus
  - § Näytteistys
  - § Kvantisointi
  - § Koodaus

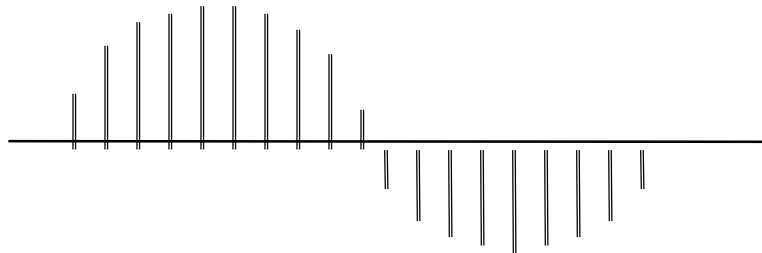
## *Analogisen signaalin näytteenotto*

- ✓ Analogista signaalia näytteistetään 8kHz taajuudella, jolloin näyteväli on 125us.
- ✓ Näin muodostuu PAM-signaali



## *Pulse Amplitude Modulation PAM*

- ✓ Analogisen signaalin näytteenotolla muodostuu amplitudiriippuva aikadiskreetti signaali PAM.
- ✓ PAM-signaalista muodostetaan PCM-koodia kvantisoinnilla.



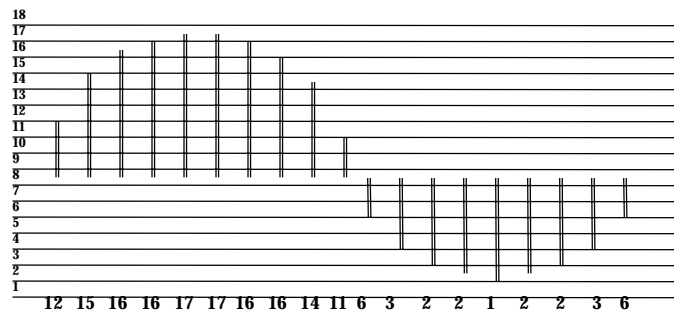
© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 9

## *Kvantisointi likiarvoistaa näytteet*

- ✓ Kvantisoinnissa jatkuvat amplitudiarvot diskretisoidaan.
- ✓ Kvantisoinnissa tulisi pyrkiä eri arvojen yhtä suureen esiintymis todennäköisyyteen.



© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 10

## *Kvantisointikohina*

- ✓ Kvantisoinnissa syntyy kohinaa, jota kutsutaan kvantisointikohinaksi. Kvantisointikohina muodostuu jatkuvien arvojen diskretisoinnista ja on maksimissaan  $\frac{1}{2}$  kvantisointiaskelta.
- ✓ Lineaarisen kvantisoinnin signaali/kohina -suhde

$$S/D = 6n + 1,8 \text{ dB} \quad n = \text{sananpituus}$$

12

11

10

9

↑  
↓  
Kvantisointivirhe

## *Lineaarinen vs epälineaarinen*

- ✓ Näytteiden kvantisoinnissa tulisi pyrkiä mahdollisimman tasaiseen arvojen käyttöön, eli jokaisen tason esiintymistodennäköisyyden tuli olla yhtä suuri.
- ✓ Tästä seuraa myös mahdollisimman pieni kohina, koska tasoja on tiheämmässä signaalin tyypillisellä arvoalueella.
- ✓ Puhesignaali sisältää pieniä signaaliarvoja suuremmalla todennäköisyydellä kuin suuria signaalin arvoja

--> epälineaarinen kvantisointi

## *Epälineaarisuus*

- ✓ **Epälineaarinen signaalin muunnos on mahdollista toteuttaa kahdella tavalla:**
  - § Epälineaarisella kvantisoinnilla
  - § Kompressoinnilla ennen lineaarista kvantisointia
- ✓ **Epälineaarinen kvantisointi voidaan toteuttaa esimerkiksi viritetyillä vastusverkoilla, kun taas kompressio vaatii epälineaarisen vahvistimen.**
- ✓ **Riippumatta toteutustavasta on epälineaarille muunnokselle olemassa funktio, jonka mukaan muunos tasot määräytyvät.**
  - § Euroopassa (ETSI) A-funktio
  - § USAssa (ANSI)  $\mu$ -funktio

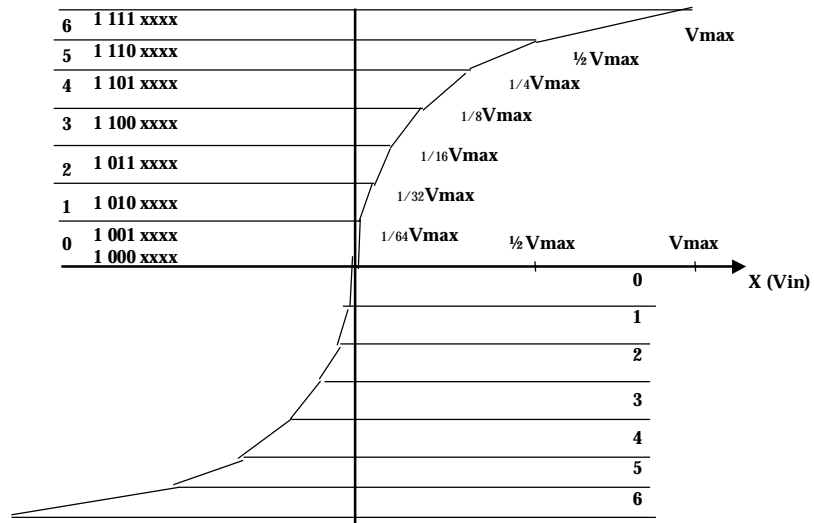
## *PCM-koodaus ja kvantisointi*

- ✓ **ETSI:n määrityksiä noudattelevissa maissa suoritetaan puheen koodaus ja kvantisointi kahdeksalla bitillä.**
  - § 1-bitti kertoo signaalin polariteetin
  - § 2-4 -bitti kertoo epälineaarisen kvantisoinnin segmentin
  - § 5-8 -bitti antaa arvon kvantisointisegmentin sisällä
- ✓ **Epälineaarisuus on määritelty ns. A-lailla**

$$\left( \frac{-A^x}{1 + \ln(A)} \right)_{0 \leq x \leq T} \quad \text{and} \quad \left( \frac{1 + \ln(A^x)}{1 + \ln(A)} \right)_{A \leq x \leq 1}$$

**A:n arvoksi on valittu 87,6**

## A-lain mukainen kvantisointikuvio



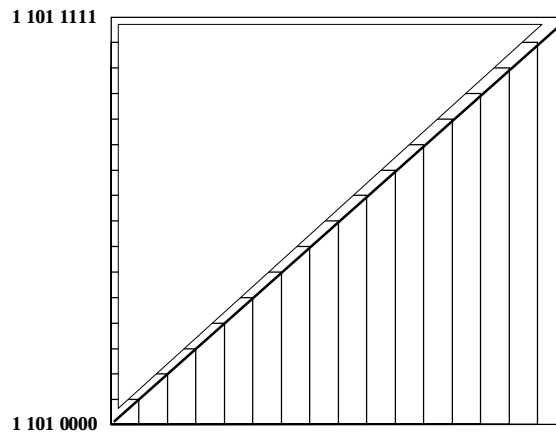
© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 15

## Segmentin sisäinen kvantisointi

- ✓ Yksittäisen segmentin sisällä kvantisointi on lineaarinen



© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 16



## *Lineaarinen vs epälineaarinen kvantisointi*

- ✓ Lineaarista ja epälineaarista kvantisointia voidaan verrata niiden tuottaman signaalin resoluution paranemisella.
- ✓ Epälineaarinen kvantisointi on painotettu pienille signaalinarvoille, joilla resoluutio on jopa 24 dB parempi.

$$G_{dB} = 20 \log V_{in} / V_{comp}$$

## *PCM-hierarkia*

- ✓ PCM-hierarkia muodostuu aikajakoisella kanavoinnilla suoritettavasta yhteyksien lomittelusta.
- ✓ Hierarkian perusnopeus on yhden puhekanavan vaatima bittinopeus

$$S = 8000\text{Hz} * 8\text{bit} = 64\text{kbit/s}$$

- ✓ Näitä puhekanavia kanavoidaan yhteydelle ryhmiksi:
  - § 30-puhekanavaa
  - § 120-puhekanavaa
  - § 480-puhekanavaa
  - § 1920-puhekanavaa

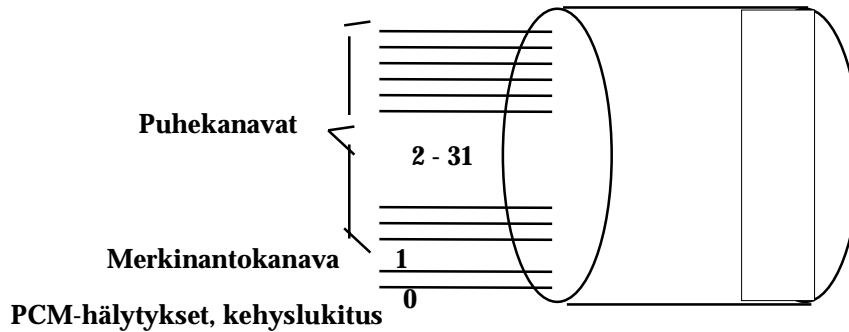
## ***PCM 30 (E1)***

- ✓ **Televerkon yleisin informaation kytkentä- ja siirtomuoto on PCM 30.**
- ✓ **PCM 30 sisältää:**
  - § 1 synkronoitumis- ja hallintakanava
  - § 1 merkinantokanava
  - § 30 puhekanavaa
- ✓ **Kanava on PCM-kehysten yksittäinen aikaväli (125us), joka muodostuu TDM-kanavoinnin yhteydessä.**
- ✓ **PCM 30 -järjestelmässä siirretään siis 32 aikaväliä, kukin 64kbit/s. Tästä seuraa kokonaisnopeus 2048kbit/s**

## ***PCM 30 -kehys***

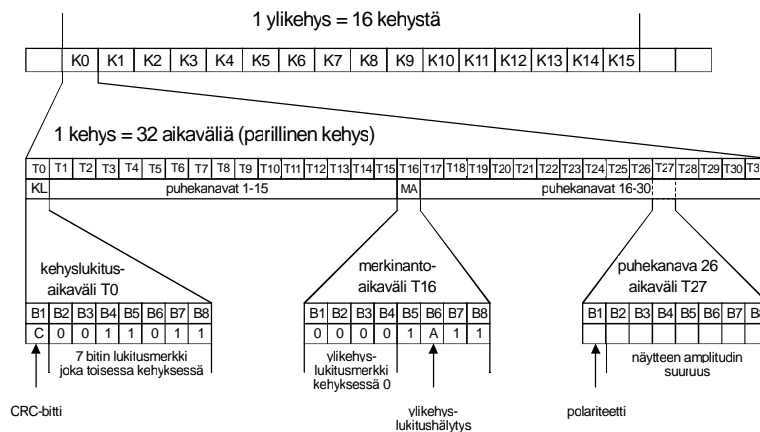
- ✓ **PCM 30 -kehys muodostuu 32 aikavälistä**
  - § Aikaväli 0 on varattu synkronointiin ja hallintaan
  - § Aikaväli 16 on varattu merkinannolle
  - § Aikavälit 1-15 ja 17-32 ovat yksittäisiä puhekanavia
- ✓ **Parillisen ja parittoman siirtokehysten rakenne on erilainen**
  - § Parillinen kehys sisältää synkronoitumiseen tarvittavan kehyslukitusmerkin (C0 01 10 11) aikavälissä 0. C on CRC-bitti, jolla varmistetaan kehyslukitusinformaatio.
  - § Pariton kehys siirtää hälytystietoja. Jotta väärää kehyslukitusta ei sattuisi on parittoman kehysten aikavälin 0 toinen bitti asetettu kiinteästi arvoon 1.

## PCM- aikavälien käyttö Suomen YKM- verkossa

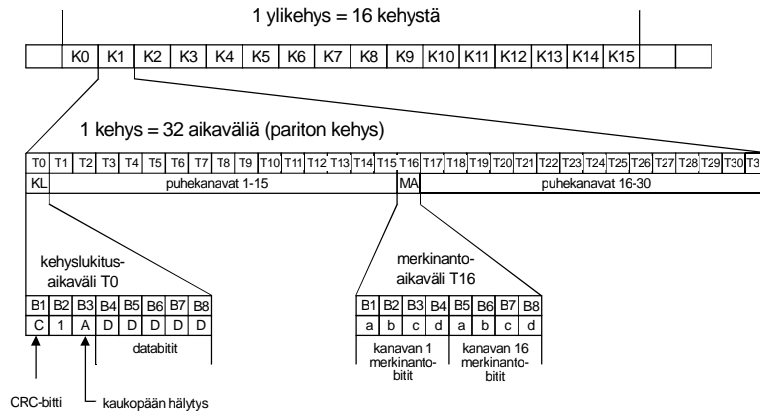


**Eli t16 onkin nyt puhekäytössä!**

## Parillinen PCM 30 -kehys



## Pariton PCM 30 -kehys



© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 23

**CRC-4 laskenta varmistaa, että kehyslukitus ei voi lukkiutua käyttäjän lähettämään kehyslukitusmerkkiin (x0011011)**

kehysnr t0/1 t0/2

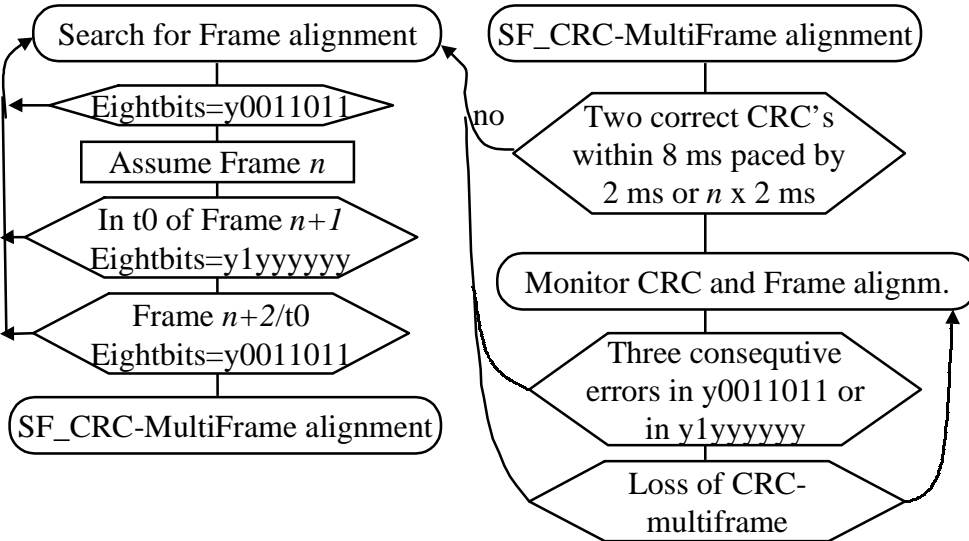
CRC-4 ylikehys	I-puolikas	0	C1	0	0	1	1	0	1	1
		1	0	1	A					
		2	C2	0	0					
		3	0	1	A					
		4	C3	0	0					
		5	1	1	A					
		6	C4	0	0					
	7	0	1	A						
	8	C1	0	0	C1...C4 - CRC4 -bitit					
	9	1	1	A	E - CRC4-error bitit					
	10	C2	0	0	001011 - CRC4 -kehysmerkki					
	11	1	1	A	A - kaukopään häilytys( t0-kehyslukitus menetetty)					
	12	C3	0	0						
	13	E	1	A						
	14	C4	0	0						
15	E	1	A							

© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

3 - 24

## E1 Kehyslukitusalgoritmi/ G.706



© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

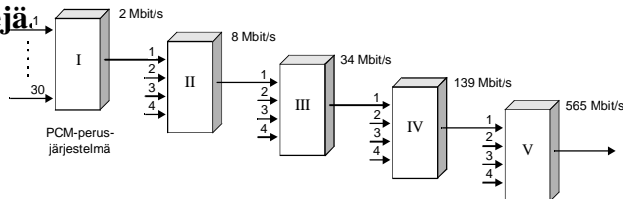
3 - 25

## Ylemmät hierarkiat

### ✓ PCM-järjestelmän monikerrat

- § PCM 30 (E1) 2,048Mbit/s
- § PCM 120 (E2) 8,448 Mbit/s
- § PCM 480 (E3) 34,368 Mbit/s
- § PCM 1920 (E4) 139,264 Mbit/s

### ✓ Monikerrat perustuvat neljän alemman tason kehyksen aikajakoiseen kanavointiin ylemmäksi kehykseksi. Tähän ylempään kehykseen liitetään myös hallinta- ja ohjaus aikavälejä.



© Rka/ML -k2000

Tiedonvälitystekniikka I

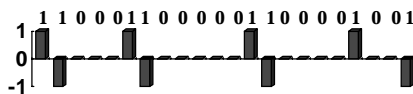
3 - 26

## *PCM-järjestelmän johtokoodi*

- ✓ PCM-järjestelmässä hyödynnetään bipolaarista siirtoa.
- ✓ Binäärinen ykköstä siirretään ainoastaan 50% jakson aikaa.
  - § Ei tarvita erillistä tasajännitteen poistoa siirtoyhteydeltä
  - § Tehospektri keskittyy  $\frac{1}{2}$  bittinopeuden kohdalle
- ✓ PCM-järjestelmissä käytetään kahta vaihtoehtoista johtokoodia:
  - § AMI - Alternate Mark Inversion
  - § HDB3 - High Density Binary 3

## *Alternate Mark Inversion - AMI*

- ✓ AMI-koodissa
  - § Binäärinen ykkönen vaihtaa polaritettia jokaisella esiintymiskerralla
  - § Binäärinen nolla ei aiheuta muutosta johdolla
- ✓ Heikkous on tahdistuksen katoaminen, jos pitkiä nollosarjoja esiintyy.





## *HDBN -vastaanotin alustaa itsensä etsimällä rikkeen ja dekoodaa sen jälkeen N+1 -bitin ryhmiä*

HDB3 -vastaanotin:

- Alustus
- Tulkitse 0=0, +/- = 1, laske pulssit
  - Kunnes löytyy AMI-koodin rike tulevasta signaalista = kaksi peräkkäistä + tai - pulssia,
  - =>tulkinta pariton & edellinen 000V = 0000, parillinen & ed. B00V = 0000  
=>seuraava bitti aloittaa 4 -bitin ryhmän
  - laske pulssien lkm seuraavista biteistä
    - 0 --> tulkinta on 0
    - + --> tulkinta on 1 (inkrementoi lkm)
    - - --> tulkinta on 1 (inkrementoi lkm)
  - lkm = pariton & 000V  
tulkinta = 0000
  - lkm=parillinen & B00V  
tulkinta = 0000