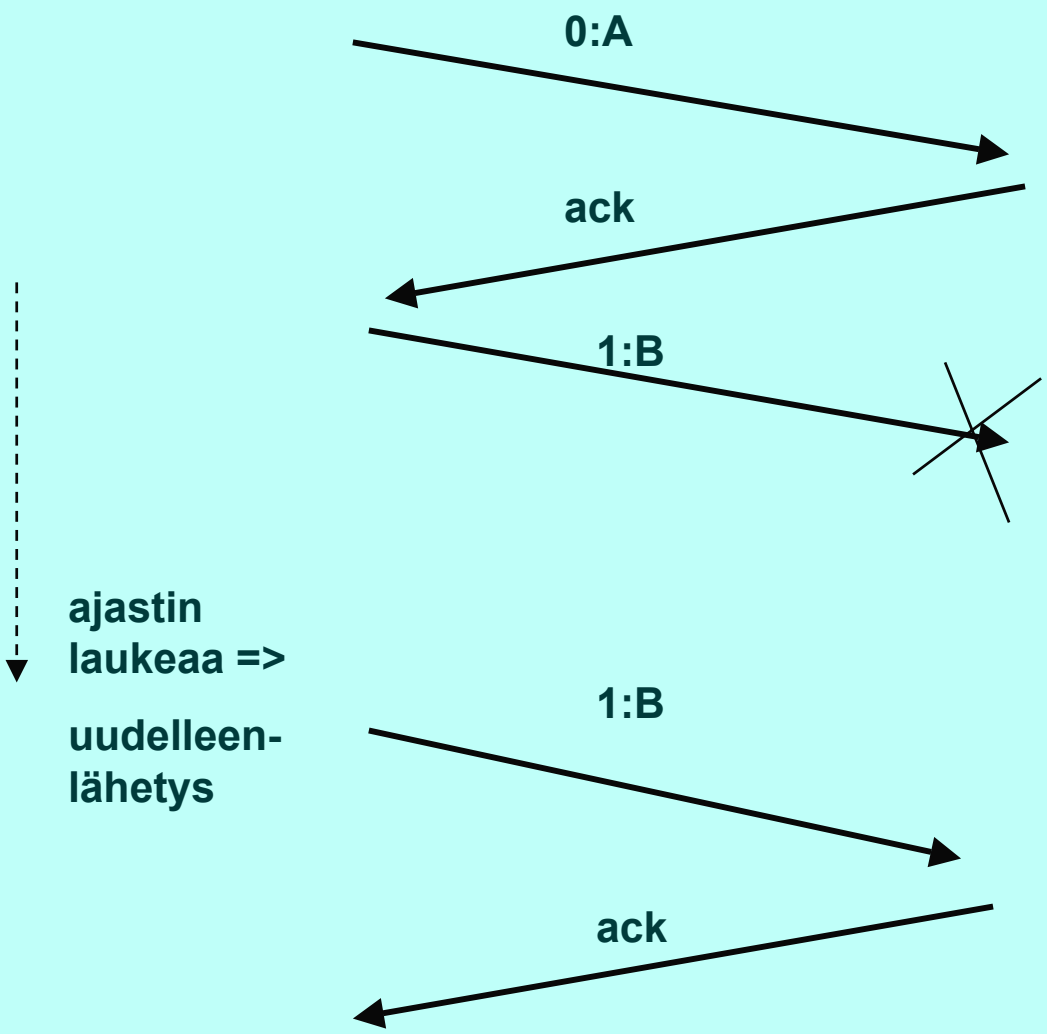
Monimutkaisempi “stop and wait” -protokolla

- **ajastin lähettäjälle**
  - jos kuittausta ei kuulu, sanoma lähetetään automaattisesti uudelleen
  - kuittaus: ACK =‘ok, lähetä seuraava’
  - uudelleenlähetys synnyttää kaksoiskappaleita!
- **Sanomanumerointi**
  - jotta vastaanottaja tunnistaa kaksoiskappaleet
  - Miten paljon numeroita tarvitaan?
    - » Numero vie tilaa sanomassa!

Lähettäjä:

vastaanottaja:



Stop and wait -protokollan suorituskyky

- **Esim. satelliittiyhteydellä**
  - **50 kbps, kiertoviive ~520 ms, sanoma 1000 bittiä**
  - **kanavan käyttöaste < 4%**

- **=> lähetetään useita sanomia ja sitten vasta odotetaan kuittauksia**
  - **ideaali: lähetykset liukuhihnalla (pipeline)**
    - **lähetykset ja kuittaukset limittyvät**
    - **ei mitään odottelua**
    - **lähetyskanava koko ajan käytössä**
  - **suorituskyky kasvaa**

Liukuvan ikkunan protokolla
(Sliding Window)

- Lähetysikkuna
  - ikkunan koko
    - montako sanomaa saa korkeintaan olla kuittaamatta
    - järkevä koko riippuu yhteyden tyypistä ja vastaanottajan kapasiteetista
    - kiinteä koko /vaihteleva koko
  - sisältö = mitkä sanomat saa lähettää
    - sanomalla järjestysnumero
      - rajallinen, N bittiä => 2**N arvoa
      - numerot käytettävä järjestyksessä

- Lähettäjä joutuu odottamaan vasta, kun kaikki ikkunan sanomat on lähetetty
  - eli numerot käytetty
- Kun kuittaus saapuu => ikkuna liukuu
  - seuraavat numerot tulevat luvallisiksi
- eli
  - lähettäjä: tietyllä hetkellä sallittujen numeroiden joukko = lähettäjän ikkuna
    - mitkä sanomat saa lähettää “etukäteen” odottamatta kuittausta

- **Vastaanottajan ikkuna**
  - **kullakin hetkellä sallittujen numeroiden joukko**
    - **mitä sanomia suostuu vastaanottamaan**
  - **kuittaus muuttaa myös vastaanottajan ikkunan**
- **ikkuna pysäyttää sanomien lähetyksen**
    - **seuraava sanomanumero ei ole lähetysikkunassa**
- **ikkuna estää sanoman vastaanoton**
    - **saadun sanoman numero ei ole vastaanottoikkunassa**

Kun ikkunan koko on 1

- Aina vain yksi sanoma kuittaamattomana
  - => One Bit Sliding Window -protokolla
  - ~ stop and wait -protokolla
- sanomanumerot 0 ja 1 riittävät
- ACK-sanoma identifioi viimeksi vastaanotetun virheettömän sanoman
  - jotta kuittausduplikaatti ei voi kuitata väärää sanomaa
  - ACK ilmoittaa joko
    - seuraavaksi odotetun sanoman numeron
    - viimeksi vastaanotetun sanoman numeron

- **Entä kun tapahtuu virhe?**
  - **kaksi eri tapaa hoitaa**
  1. **toisto virheestä lähtien (go back n) (tai paluu n:ään)**
  2. **valikoiva toisto (selective repeat)**

Toisto virheestä eli Paluu n:ään (‘Go back n’)

- virheellisen sanoman havaittuaan
  - vastaanottaja hylkää kaikkia sen jälkeiset sanomat eikä lähetä niistä kuittauksia
  - => sanomat hyväksytään vain oikeassa järjestyksessä
- kun lähettäjä ei saa kuittauksia,
  - sen lähetysikkuna ‘täyttyy’
  - eikä se voi enää lähettää
- lähettäjän ajastimet laukeavat aikanaan ja
  - virheellinen sanoma
  - sekä kaikki sen jälkeen lähetetyt sanomat lähetetään uudelleen
- tehoton, jos paljon virheitä ja iso ikkuna

Valikoiva toisto

- vastaanottaja hyväksyy kaikki kelvolliset sanomat
  - se kuittaa sanomat
  - puskuroi ne ja toimittaa eteenpäin oikeassa järjestyksessä
    - » tarvitaan puskuritilaa
- lähettäjä ei saa kuittausta virheellisestä sanomasta
  - ajastin laukeaa ja sanoma lähetetään uudelleen
  - lähettää uudelleen vain virheellisen sanoman
  - ikkuna liukuu nytkin tasaisesti
    - » yksi puuttuva kuittaus voi pysäyttää lähetyksen

Kuittaukset

- ACK
  - kumulatiivinen ACK
    - tähän saakka kaikki ok!
    - Go-Back N
  - yksittäinen ACK
    - vain tämä ok!
    - Valikoiva toisto
- NAK-kuittaus
  - sanoma virheellinen tai puuttuu

Negatiiviset kuittaukset

- NAK-kuittauksilla voidaan nopeuttaa uudelleenlähettämistä
  - vastaanottaja ilmoittaa heti virheellisestä tai puuttuvasta kehyksestä
  - ei ole tarpeen odottaa ajastimen laukeamista
- hyödyllinen, jos kuittausten saapumisaika vaihtelee paljon
  - ajastinta vaikea asettaa oikein

- NAK-kuittaukset voivat aiheuttaa turhia uudelleenlähetyksiä
  - lähetys ja kuittaus menevät ristiin
- NAK-kuittauksen katoaminen ei haittaa

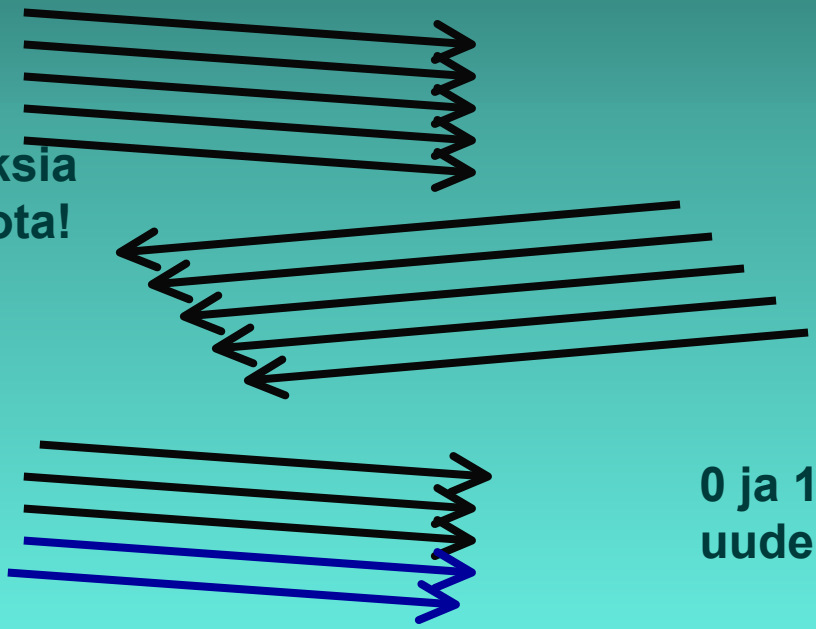
- implisiittinen uudelleenlähetys
  - ei NAK-kuittauksia
- explisiittinen uudelleenlähetys
  - käytetään NAK-kuittauksia

Ikkunankoko

- Kun käytetty numeroavaruus on 0, 1, .. n ja eri numeroita siis käytettävissä n+1
  - yleensä jokin kakkosen potenssi
    - » koska numerokentän koko k bittiä => käytössä 2**k numeroa
- ikkunan koko ‘go back n’:ssä voi olla korkeintaan n
  - eli oltava ainakin yhtä pienempi kuin numeroavaruus
- ikkunan koko valikoivassa toistossa voi olla korkeintaan (n+1)/2
  - saa olla korkeintaan puolet numeroavaruudesta

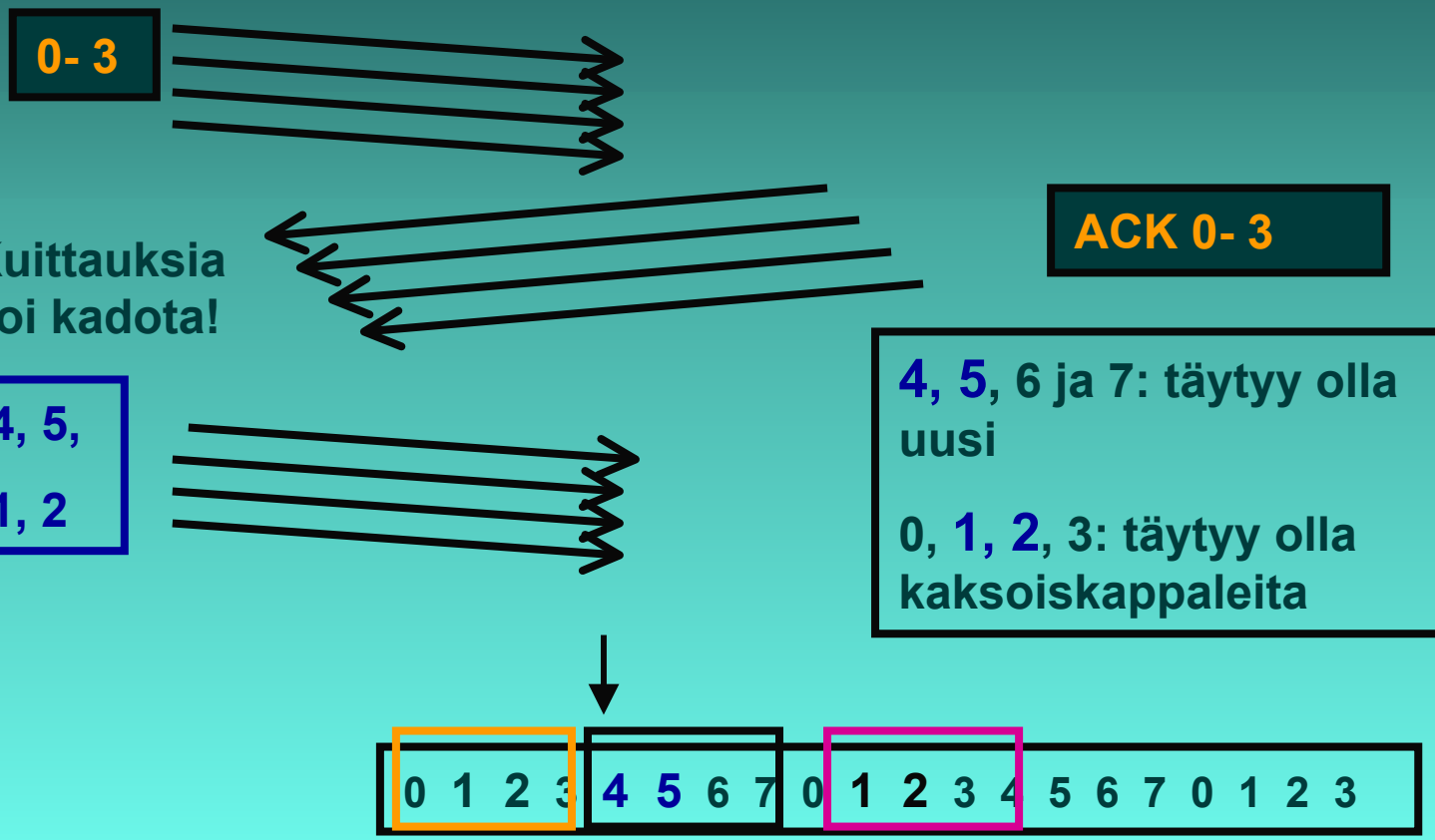
Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 5, numeroavaruus 8



Miksi?

Valikoiva toisto: ikkuna 4, numeroavaruus 8



Kaksisuuntainen liikenne

- datakehys ja kuittauskehys
- kehyksessä sekä data että kuittaus
  - ‘piggypacking’
  - tehostaa lähetystä
- ongelma: kauanko kuittaaja odottaa dataa ennen pelkän kuittauksen lähettämistä?

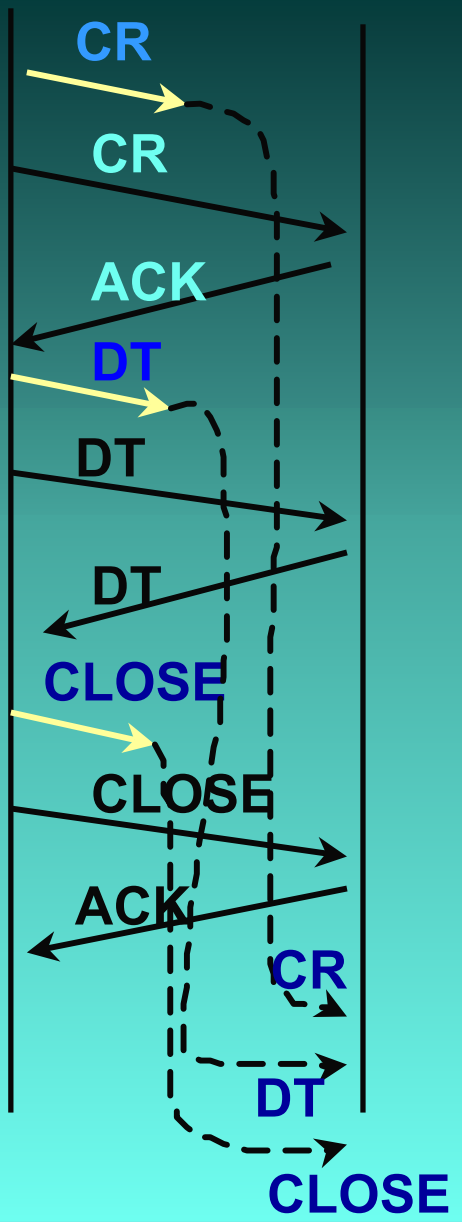
3.5. TCP-protokolla

- yhteyden muodostus ja purku
- luotettavan tavuvirran toteuttaminen
- vuonvalvonta
- siirron optimointi
- TCP-segmentti
- ruuhkan valvonta
- TCP-palvelun käyttö

Yhteyden muodostus ja purku TCP:ssä

- **TCP käyttää yhteyden muodostamiseen ja purkuun ns. kolminkertaista kättelyä (three-way handshake)**
  - **välissä oleva verkko tekee yhteyden muodostamisen ja purun hankalaksi**
    - **viivästyneet sanomat => sanomille elinaika (max 3 minuuttia)**
    - **sanomien numeroinnista sopiminen**
  - **Kahden armeijan ongelma (two-army problem)**
    - **“hyökkään, jos olen varma, että sinäkin hyökkäät”**
    - **symmetrinen yhteyden purku = molemmat osapuolet tietävät, että toinenkin on varmasti purkanut yhteyden**

Yhteyden muodostus ruuhkaisessa verkossa



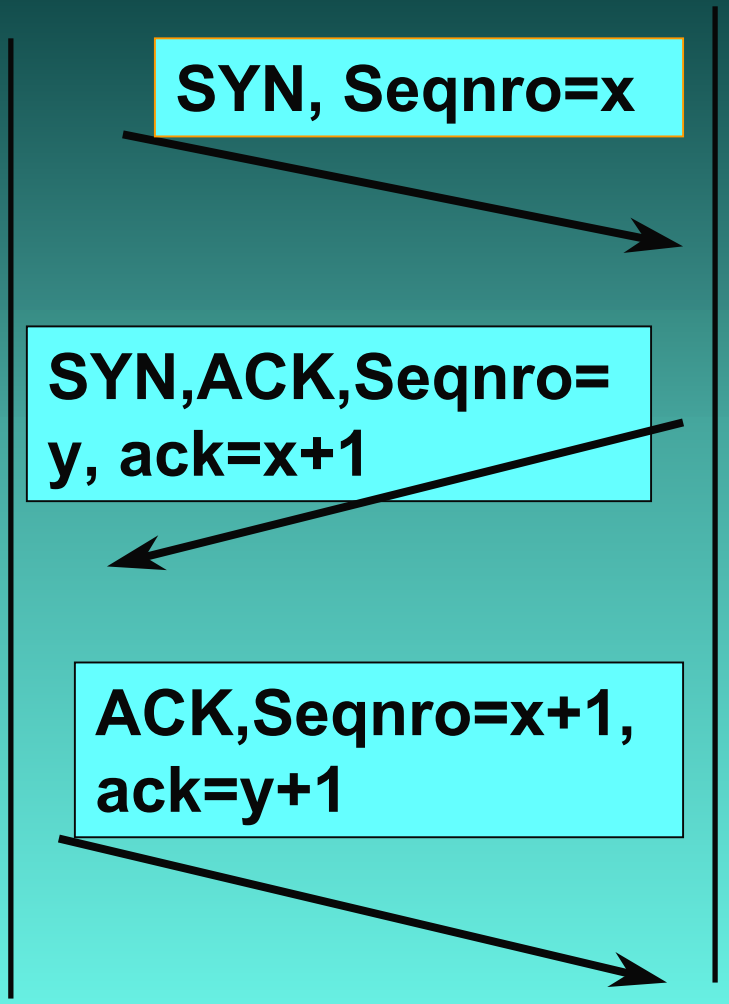
Jokainen paketti lähetetään kahteen kertaan

Kun yhteys on purettu, viivästyneet kaksoiskappaleet saapuvat

Ne tulkitaan uudeksi yhteydeksi, ja data otetaan vastaan kahteen kertaan!

Kolminkertainen kättely

SYN = tahdistus-sanoma

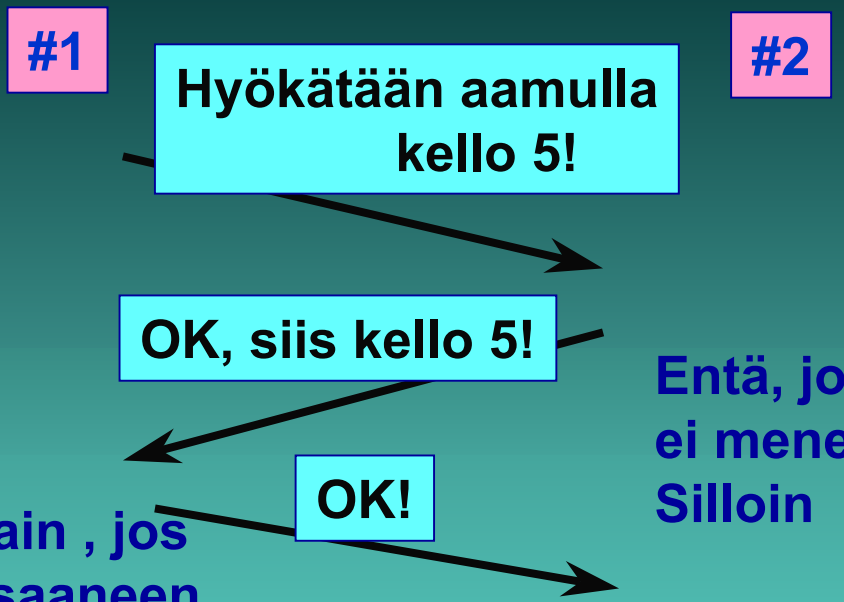


yhteyspyynnössä pyytäjän nro x

vahvistuksessa sekä pyytäjän että suostujan järj.numero

ensimmäisessä datalähetyksessä molemmat numerot

Yhteyden muodostus

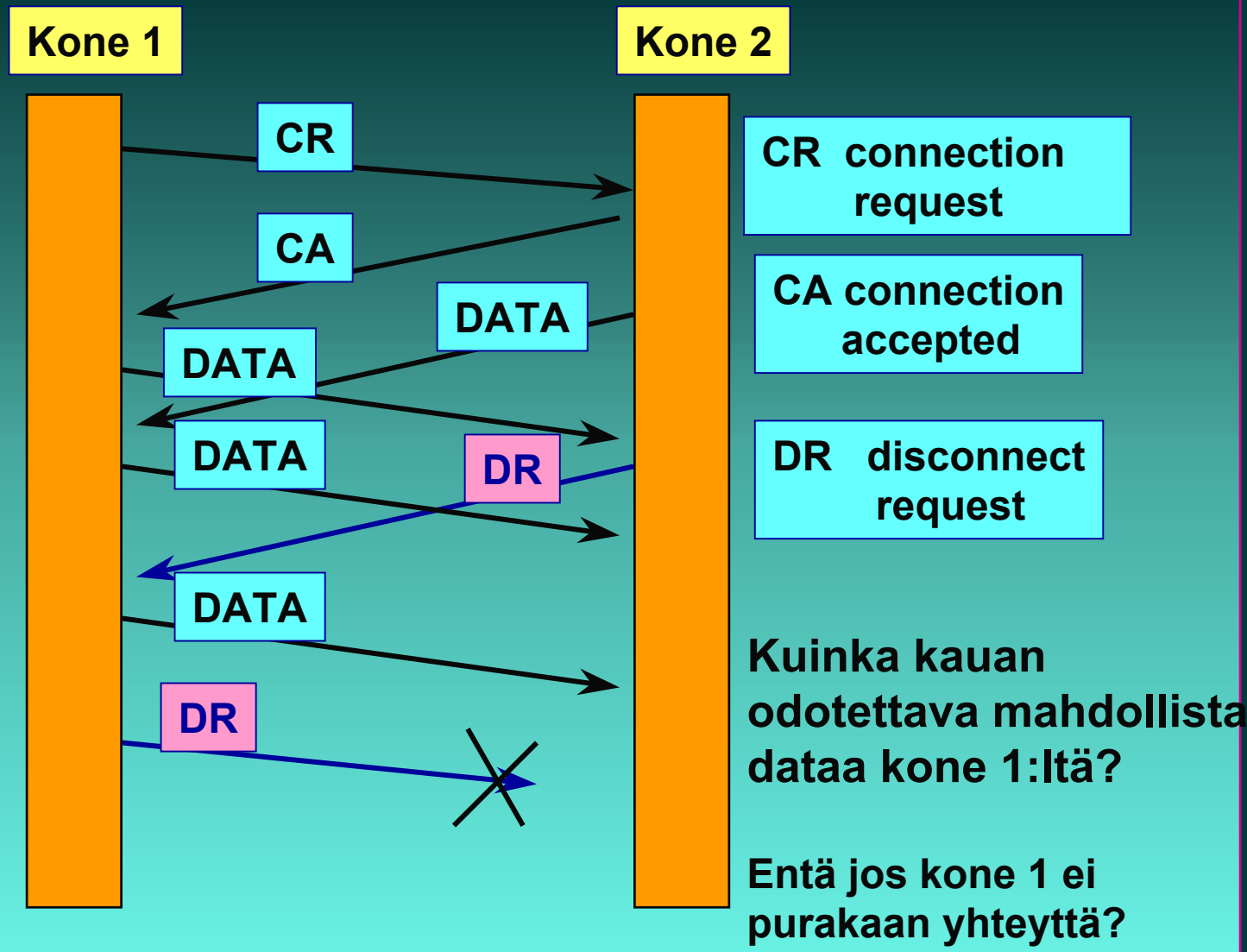


Entä, jos vastaus ei mene perille? Silloin #1 ei hyökkää!

#2 hyökkää vain , jos tietää minun saaneen vastaussanoman.

Loogisesti ratkeamaton ongelma.
Kaikki riippuu aina viimeisestä sanomasta, jonka perillemenoa ei voida taata!

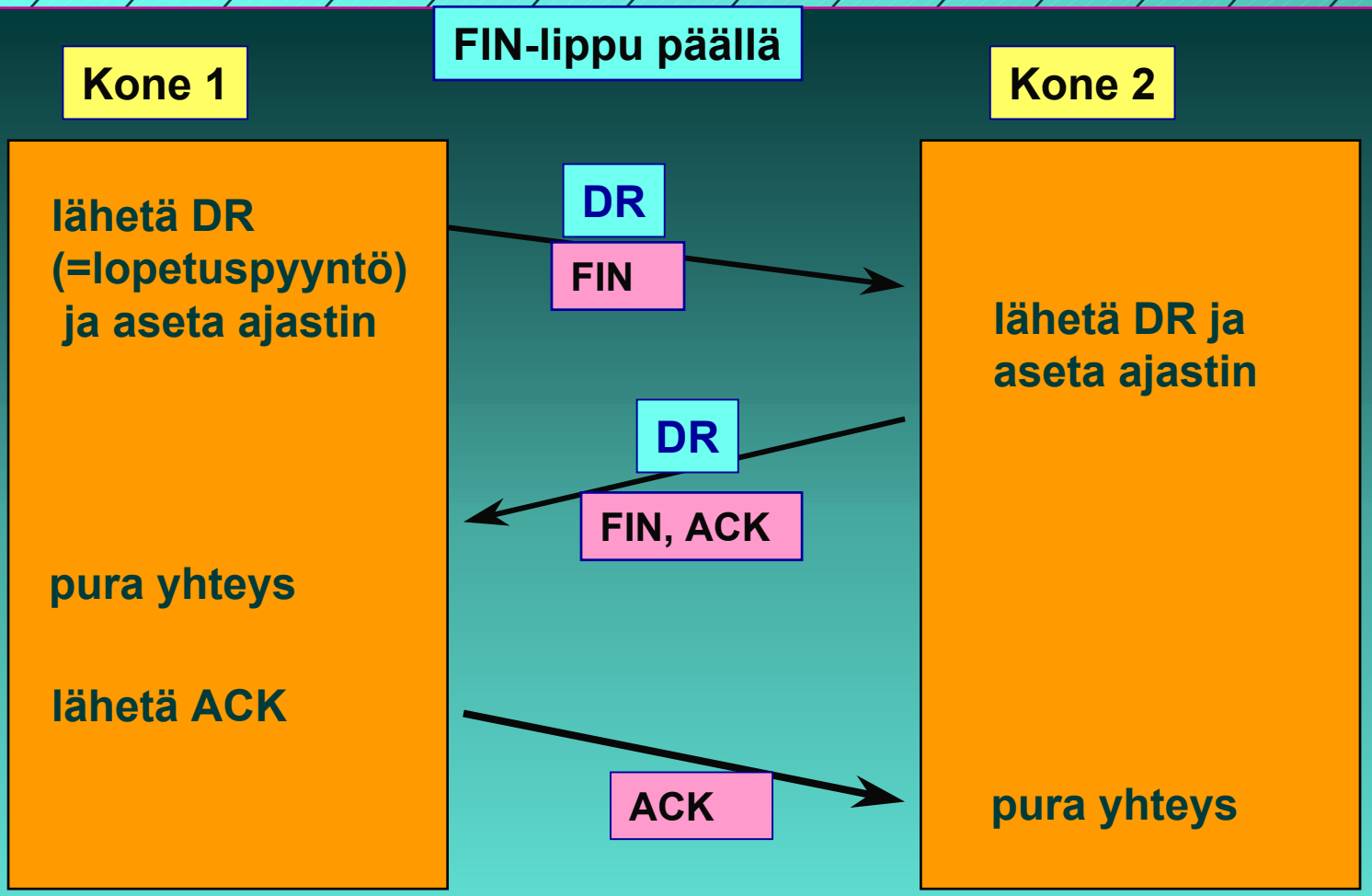
Kahden armeijan ongelma (two-army problem)



Sama ongelma: Symmetrinen yhteyden purku

Yhteyden purku

- molemmat suunnat puretaan erikseen
- TCP-segmentti
  - FIN = 1
  - ei enää dataa lähetettävä
  - kun saadaan kuittaus => yhteys tähän suuntaan purettu
  - yhteys kokonaan purettu, kun molemmat suunnat purettu
- purussa käytetään ajastimia
  - 2 * paketin maksimaalinen elinikä



Yhteyden purku kolminkertaista kättelyä käyttäen

TCP: Virheettömyys ja järjestys

- **Järjestysnumerot**
  - **tavuvirta => tavunumerointi**
  - **segmentin 1. tavun järjestysnumero**
  - **yhteyden alussa satunnaiset numerot**
- **kuittaukset**
  - **kumulatiivinen ACK, ei NAK-kuittausta**
  - **kuittauksessa seuraavaksi odotettava tavu**
  - **kuitataan ‘tiheästi’**
    - **vähintään joka toinen**

- Go Back N -tyyppinen
  - virheellisiä tai väärässä järjestyksessä tulleita ei hyväksytä
    - ne voidaan myös tallettaa
  - mutta ei välttämättä lähetä kaikkia virheellisestä lähtien uudestaan
- Myös ehdotettu valikoivan toiston tyyppistä kuittaamista
  - SACK-kuitaus, joka kertoo, mitkä segmentit on vastaanotettu ok

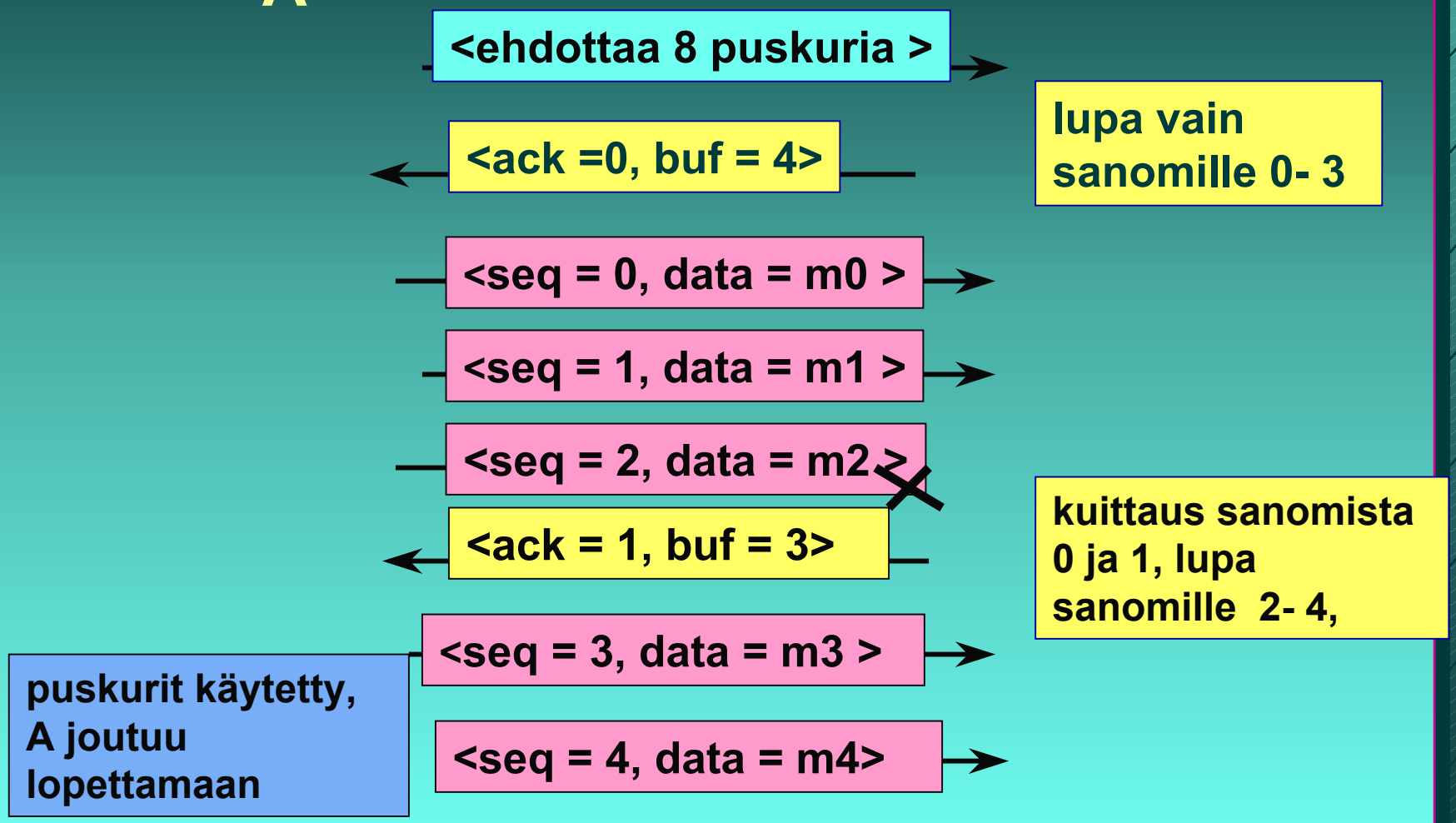
Toistokuittaukset

- **Ensikuittaus**
  - **ensimmäinen vastaanotettu sanoman kuittaus**
    - **ACK(i): sanomaan i saakka kaikki OK!**
- **toistokuittaus (duplicate ACK)**
  - **väärässä järjestyksessä saatu segmentti tai virheellinen segmentti => toistetaan uudestaan jo annettu kuittaus**
    - **NAK-kuittauksen korvike**
    - **3 toistokuittausta => segmentti kadonnut tai virheellinen**

TCP:n vuonvalvonta

- **‘joustava’ liukuva ikkuna (sliding window) (“credit-vuonvalvonta”)**
- **vastaanottaja kertoo, kuinka paljon suostuu vastaanottamaan**
  - **=> kuittaus irroitettu vuonvalvonnasta**
    - **puhtaassa liukuvassa ikkunassa kuittaus siirtää ikkunaa**
    - **AdvertisedWindow-kenttä**
      - **paljonko saa lähettää = paljonko vastaanottajan puskureihin mahtuu**
- **myös ruuhkan valvonta rajoittaa lähettämistä**

Esimerkki


A
B
<ehdottaa 8 puskuria >
lupa vain sanomille 0- 3
<ack =0, buf = 4>
<seq = 0, data = m0 >
<seq = 1, data = m1 >
<seq = 2, data = m2 >
kuittaus sanomista 0 ja 1, lupa sanomille 2- 4,
<ack = 1, buf = 3>
<seq = 3, data = m3 >
puskurit käytetty, A joutuu lopettamaan
<seq = 4, data = m4>