# OSA II:

## Hajautettu ympäristö

**Ei yhteistä muistia**



## Sisältö, osa II

- ❻ Sanomanvälitys
- ❼ Etäproseduurikutsu
- ❽ Rendezvous



## ❻ Sanomanvälitys

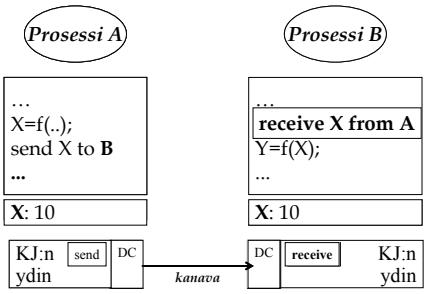
Käsitteistöä
Kanavat
Asiakkaat ja Palvelijat
Kommunikointitapoja

**Andrews 7.1-7.6, Stallings 5.6, 13.1-13.2**

## Käsitteistöä



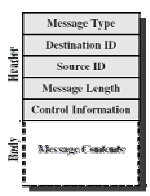
## Kommunikointi






## Sanomanvälitys

- **Käyttö**
  - prosessien välinen tiedonvälitys
  - synkronointi: vuorot / ajoitus
- **Käyttäjätason operaatiot**
  - lähetys **send (receiver-id, msg)**
  - vastaanotto **receive([sender-id,] msg)**
- **Matkassa myös KJ:n lisäämä tieto**
  - ainakin: sender-id, receiver-id, sanoma, ...
- **Toteutus?**
  - pistokkeet: UDP/TCP, …



## Odotussemantiikka

- **Send**
  - jatka heti, kun KJ kopioinut puskuriinsa ***tai***
  - odota kunnes vastaanottaja saanut sanoman
- **Receive**
  - odota kunnes KJ kopioinut prosessin muuttujiin ***tai***
  - jos kanava tyhjä, jatka välittömästi
    - jos ei sanomaa ~"no operation"
- ***Blocking, non-blocking***



## Synkronointi

| receive \ send | blocking | nonblocking |
|---|---|---|
| blocking | synkroninen | asynkroninen |
| nonblocking | asynkroninen | asynkroninen |

**Synkroninen**

- lähettäjä tietää, että vastaanottaja on saanut sanoman
- toimintojen suoritusjärjestys selvä

**Asynkroninen**

- toimintojen tarkka suoritusjärjestys epäselvä

**Andrews: asynkroninen tiedonvälitys**
**send non-blocking, receive blocking**

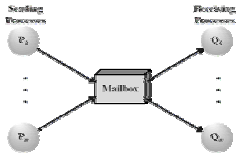


# Kanavat



## Sitominen

- **Lähettäjä ⇔ Kanava ⇔ Vastaanottaja**
- **Kanava**
  - tiedonsiirtoyhteys prosessien välillä (point-to-point ⇔ väylä)
- **Sanomat**
  - send kanavaan, jonka tuntee yksi
    - unicast (yksittäislähetys)
  - tai useampi prosessi
    - multicast (monilähetys)
    - broadcast (yleislähetys)



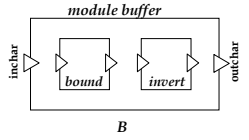



- **Sitomistapoja**
  - one-to-one (kaksi prosessia, yksi kummankin tuntema kanava)
  - many-to-one (asiakkaat-palvelija)
  - one-to-many, many-to-many (asiakas - palvelut, ryhmäkommunikointi)
- **Andrews** (tämä kurssi)
  - one-to-one tai many-to-one
  - luotettava, järjestyksen säilyttävä sanomanvälitys
  - prosessi(parien) sitominen: ***nimetty kanava***
  - ei monilähetystä
  - ei yleislähetystä
  - Huom: esimerkit eivät ota kantaa sitomiseen

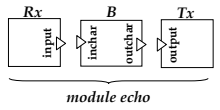


## Explisiittinen sitominen (Sloman, Kramer fig 3.9, 3.10)

```
GROUP MODULE buffer;
  ENTRYPORT inchar: char REPLY signaltype;
  EXITPORT  outchar: char REPLY signaltype;
  USE bound, invert;
  CREATE bound, invert;
  LINK    inchar TO bound.getchar;
          invert.getchar TO bound.putchar;
          invert.outchar TO outchar;
END.
```




```
GROUP MODULE echo;
  CONST status=177560#8;
        vector=100#8;
  USE serial-input, serial-output, buffer;
  CREATE Rx: serial-input(status,vector);
         Tx: serial-output(status+4, vector+4)
         B: buffer;
  LINK Rx.input TO B.inchar;
       B.outchar TO Tx.output;
END.
```



# Kanavat (Andrews)

- **Yhteinen '<u>postilaatikko</u>'**
  - jono sanomia, FIFO
  - kaikki kanavan sanomat rakenteeltaan samanlaisia
- **chan ch(type$_1$ id$_1$, ..., type$_n$ id$_n$)**
  - ch: kanavan nimi
  - type$_i$ id$_i$: sanoman osien tyypit, ja nimet (saavat puuttua)
- **Esim.**
  - chan input(char);
  - chan disk_access (int cylinder, int block, int count, char* buffer);
  - chan result[n] (int); *# kanavien taulukko*



## <u>Operaatiot</u>

- **send kanava(lauseke$_1$, ... , lauseke$_n$)**
  - lähetä sanoma kanavaan
- **receive kanava(muuttuja$_1$ , ... , muuttuja$_n$)**
  - vastaanota sanoma kanavasta
- **empty(kanava)**
  - tarkista onko kanava tyhjä sanomista
- **Esim.**
  - send disk_access(cylinder+2, block, count, buf)
  - receive result[i](sum)
  - empty(input)

*Ei ota kantaa minkä prosessin kanssa kommunikoi!*



## <u>Suodin:</u> Merkit riveiksi

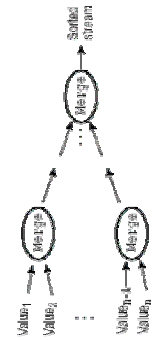
```
chan input(char), output(char [MAXLINE]);
process Char_to_Line {
  char line[MAXLINE]; int i = 0;
  while (true) {
    receive input(line[i]);
    while (line[i] != CR and i < MAXLINE) {
      # line[0:i-1] contains the last i input characters
      i = i+1;
      receive input(line[i]);
    }
    line[i] = EOL;
    send output(line);
    i = 0;
  }
}
```

**Yhteiskäyttöinen kanava (globaali)**
esittely prosessien ulkopuolella (~ sitominen)

**Andrews Fig. 7.1.**

## <u>Suodin:</u> Iomita kaksi syöttökanavaa

```
chan in1(int), in2(int), out(int);
process Merge {
  int v1, v2;
  receive in1(v1);  # get first two input values
  receive in2(v2);
  # send smaller value to output channel and repeat
  while (v1 != EOS and v2 != EOS) {
    if (v1 <= v2)
      { send out(v1); receive in1(v1); }
    else   # (v2 < v1)
      { send out(v2); receive in2(v2); }
  }
  # consume the rest of the non-empty input channel
  if (v1 == EOS)
    while (v2 != EOS)
      { send out(v2); receive in2(v2); }
  else   # (v2 == EOS)
    while (v1 != EOS)
      { send out(v1); receive in1(v1); }
  # append a sentinel to the output channel
  send out(EOS);
}
```




**Andrews Fig. 7.2.**

*Prosessien sitominen? Rinnakkaisuus?*

# Asiakkaat ja Palvelija



# Kommunikointitapoja

- **Osapuolet**
  - yksittäinen prosessi ⇔ ryhmä
  - nimetty partneri ⇔kuka tahansa
- **Tarpeita**
  - kahdenkeskinen, peer to peer: A ⇔ B
  - monilähetys, yleislähetys
  - asiakkaat ⇔ palvelija, kuka tahansa ⇔ FileServer
  - asiakas ⇔ palvelu
    - mikä tahansa palvelijaprosessi
    - muut palvelijaprosessit palvelevat toisia prosesseja

## Asiakkaat ja yhden palvelun palvelija

```
chan request(int clientID, types of input values);
chan reply[n](types of results);
process Server {
  int clientID;
  declarations of other permanent variables;
  initialization code;
  while (true) {   ## loop invariant MI
    receive request(clientID, input values);
    code from body of operation op;
    send reply[clientID](results);
}
process Client[i = 0 to n-1] {
  send request(i, value arguments);     # "call" op
  receive reply[i](result arguments);   # wait for reply
}
```

*yhteinen pyyntökanava, yksityiset vastauskanavat*

**Andrews Fig. 7.4.**

## Asiakkaat ja monen palvelun palvelija

### Pyyntökanava

- Asiakkaiden tuntema julkinen kanava
  - käytännössä: IP-osoite ja porttinumero
- Yksi pyyntökanava
  - *sanoma kanavaan ⇨ tulkitse tyyppi, valitse palvelu*

  *tai* dedikoitu kanava kullekin palvelulle
  - *valitse palvelu ⇨ lähetä sopivaan kanavaan*

### Vastauskanava

- Palvelijan tuntema (staattinen) *[Tällä kurssilla]*
  - Jokaisella asiakkaalla oma yksityinen
    - kerro oma identiteetti pyyntösanomassa
- Asiakas kertoo pyynnössä (dynaaminen)
  - käytännössä: oma IP-osoite ja porttinumero



## Asiakkaat ja monen palvelun palvelija

```
type op_kind = enum(op1, ..., opn);
type arg_type = union(arg1, ..., argn);
type result_type = union(res1, ..., resn);
chan request(int clientID, op_kind, arg_type);
chan reply[n](res_type);
process Server {
  int clientID; op_kind kind; arg_type args;
  res_type results; declarations of other variables;
  initialization code;
  while (true) {    ## loop invariant MI
    receive request(clientID, kind, args);
    if (kind == op1)
      { body of op1; }
    ...
    else if (kind == opn)
      { body of opn; }
    send reply[clientID](results);
  }
}
process Client[i = 0 to n-1] {
  arg_type myargs; result_type myresults;
  place value arguments in myargs;
  send request(i, opj, myargs);    # "call" opj
  receive reply[i](myresults);     # wait for reply
}
```

**Andrews Fig. 7.5.**

## Aterioivat filosofit, yksi syöttökanava

```
type opType = enum(REQ, REL);
chan phone(int, opType), reply[5]( );
```

```
process philosofer[i=0 to 4] {
  while (true) {
    think();
    send phone(i, REQ);
    receive reply[i]();
    eat();
    send phone(i, REL);
}
```

**Keskitetty resurssien hallinta:**

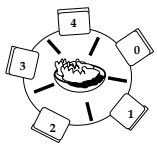
- "*public phone number*", *many-to-one*
- "*secret phone number*", *one-to-one*

```
process secretary {
  while (true) {
    receive phone(philo, what);
    switch (what) {
      case REQ: {
        state[philo]=HUNGRY;
        consider_allocation_to(philo);
      }
      case REL: {
        state[philo]=THINKING;
        consider_allocation_to(philo-1);
        consider_allocation_to(philo+1);
      }
    }
}
```



```
type activity = enum(THINKING, HUNGRY, EATING);
activity state[5] = ([4] THINKING);
```

```
procedure consider_allocation_to(int i) {
  if ( state[i] == HUNGRY)
     if (state[i-1]!=EATING AND state[i+1]!=EATING) {
        state[i] = EATING;
        send reply[i]();
     }
}
```






## Aterioivat filosofit, dedikoidut kanavat

```
chan request(int), release(int),
      reply[5]( );
sem mutex=1;
```

```
process philosofer[i=0 to 4] {
  while (true) {
    think();
    send request(i);
    receive reply[i]();
    eat();
    send release(I);
}
```

*Miten odottaa yhtä aikaa kahdesta eri kanavasta?*

```
process secretary {
 co  while (true) {
        receive request(philo);
        P(mutex);
        state[philo]=HUNGRY;
        consider_allocation_to(philo);
        V(mutex);
      }
//  while (true) {
        receive release(philo);
        P(mutex);
        state[philo]=THINKING;
        consider_allocation_to(philo-1);
        consider_allocation_to(philo+1);
        V(mutex);
      }
oc
}
```

*Huomaa rinnakkaisuus!*

## Monitori vs. Palvelija

- **proseduurikutsu vs. kanava & sanoma**
- **poissulkeminen**
  - monitori: implisiittisesti, ei semaforeja!
  - palvelija: palvele yksi asiakas kerrallaan, uudet pyyntösanomat jäävät kanavaan
- **synkronointi**
  - monitori: jos ei saa edetä, wait(ehtomuuttuja)
    - kutsunut prosessi nukahtaa
  - palvelija: jos ei saa edetä, laita sisäiseen jonoon
    - palvelija ei voi nukahtaa!



## Monitori vs. Palvelija

| *Monitor-Based Programs* | *Message-Based Programs* |
|---|---|
| permanent variables | local server variables |
| procedure identifiers | `request` channel and operation kinds |
| procedure call | `send request(); receive reply` |
| monitor entry | `receive request()` |
| procedure return | `send reply()` |
| `wait` statement | save pending request |
| `signal` statement | retrieve and process pending request |
| procedure bodies | arms of case statement on operation kind |

**Andrews Table 7.1.**



## Resurssin varaus, Monitori

```
monitor Resource_Allocator {
  int avail = MAXUNITS;
  set units = initial values;
  cond free;   # signaled when a process wants a unit
  procedure acquire(int &id) {
    if (avail == 0)
      wait(free);
    else
      avail = avail-1;
    remove(units, id);
  }
  procedure release(int id) {
    insert(units, id);
    if (empty(free))
      avail = avail+1;
    else
      signal(free);
  }
}
```

*Condition passing*

*Vrt. resurssinvarauksen yleinen malli, ch 4.5*

**Andrews Fig. 7.6.**

## Resurssin varaus, Palvelija

```
type op_kind = enum(ACQUIRE, RELEASE);
chan request(int clientID, op_kind kind, int unitid);
chan reply[n](int unitID);
process Allocator {
  int avail = MAXUNITS; set units = initial values;
  queue pending;  # initially empty
  int clientID, unitID; op_kind kind;
  declarations of other local variables;
  while (true) {
    receive request(clientID, kind, unitID);
    if (kind == ACQUIRE) {
      if (avail > 0) {  # honor request now
        avail--; remove(units, unitID);
        send reply[clientID](unitID);
      } else   # remember request
        insert(pending, clientID);
    } else {   # kind == RELEASE
      if empty(pending) {
        avail++; insert(units, unitid);
      } else {
        remove(pending, clientID);
        send reply[clientID](unitID);
      }
    }
  }
}
```

```
process Client[i = 0 to n-1] {
  int unitID;
  send request(i, ACQUIRE, 0)
  receive reply[i](unitID);
  # use resource, release
  send request(i,RELEASE,unitID);
   ...
}
```

**Andrews Fig. 7.7.**

# Kommunikointitapoja



## Jutustelun jatkuvuus / ylläpito

- **Useita asiakkaita, useita palvelijoita**
- **Esim: Tiedostopalvelija**
  - yksi ulospäin näkyvä palvelu (tdstojen käyttö)
  - yksi palvelijaprosessi kullekin asiakkaalle
- **Sitominen**
  - asiakas ⇔ mikä tahansa prosessi
- **Tarve**
  - prosessi haluaa tehdä sarjan peräkkäisiä tiedosto-operaatioita (open(…), read(), …), sama palvelijaprosessi palvelee

**Tiedosto-palvelijat ja asiakkaat**

```
type kind = enum(READ, WRITE, CLOSE);
chan open(string fname; int clientID);
chan access[n](int kind, types of other arguments);
chan open_reply[m](int serverID);  # server id or error
chan access_reply[m](types of results);  # data, error, ...

process File_Server[i = 0 to n-1] {
  string fname; int clientID;
  kind k; variables for other arguments;
  bool more = false;
  variables for local buffer, cache, etc.;
  while (true) {
    receive open(fname, clientID);
    open file fname; if successful then:
    send open_reply[clientID](i); more = true;
    while (more) {
      receive access[i](k, other arguments
      if (k == READ)
        process read request;
      else if (k == WRITE)
        process write request;
      else   # k == CLOSE
        { close the file; more = false; }
      send access_reply[clientID](results
    }
  }
}
```

```
process Client[j = 0 to m-1] {
  int serverID;
  send open("foo", j);
  receive open_reply[j](serverID);
  # use file then close
  send access(serverID)(access arguments)
  receive access_reply[j](results);
    ...
}
```

Andrews Fig. 7.10.

# Vertaistoimijat (Interactive Peers)

**Esim. Arvojen välittäminen**

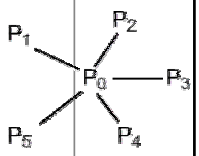
- **n prosessia**
- **kullakin paikallinen arvo v**
- **etsi globaali min(v), max(v)**

- **Tiedonvälitys**
  - Keskitetty? Symmetrinen? Rengas?
  - Rinnakkaisuus?
  - Tiedonvälityksen tehokkuus?



## Keskitetty ratkaisu

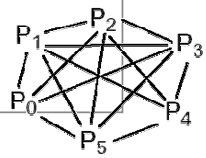
```
chan values(int), results[n](int smallest, int largest);
process P[0] {   # coordinator process
  int v;   # assume v has been initialized
  int new, smallest = v, largest = v;  # initial state
  # gather values and save the smallest and largest
  for [i = 1 to n-1] {
    receive values(new);
    if (new < smallest)
      smallest = new;
    if (new > largest)
      largest = new;
  }
  # send the results to the other processes
  for [i = 1 to n-1]
    send results[i](smallest, largest)
}
process P[i = 1 to n-1] {
  int v;   # assume v has been initialized
  int smallest, largest;
  send values(v);
  receive results[i](smallest, largest);
}
```




Andrews Fig. 7.11.

## Symmetrinen ratkaisu

```
chan values[n](int);
process P[i = 0 to n-1] {
  int v;   # assume v has been initialized
  int new, smallest = v, largest = v;  # initial state
  # send my value to the other processes
  for [j = 0 to n-1 st j != i]
    send values[j](v);
  # gather values and save the smallest and largest
  for [j = 1 to n-1] {
    receive values[i](new);
    if (new < smallest)
      smallest = new;
    if (new > largest)
      largest = new;
  }
}
```



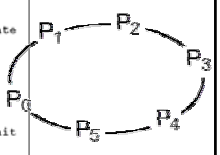

*looginen vs. fyysinen rakenne*

Andrews Fig. 7.12.

## Rengasratkaisu

```
chan values[n](int smallest, int largest);
process P[0] {  # initiates the exchanges
  int v;   # assume v has been initialized
  int smallest = v, largest = v;  # initial state
  # send v to next process, P[1]
  send values[1](smallest, largest);
  # get global smallest and largest from P[n-1] and
  #   pass them on to P[1]
  receive values[0](smallest, largest);
  send values[1](smallest, largest);
}
process P[i = 1 to n-1] {
  int v;   # assume v has been initialized
  int smallest, largest;
  # receive smallest and largest so far, then update
  #   them by comparing their values to v
  receive values[i](smallest, largest)
  if (v < smallest)
      smallest = v;
  if (v > largest)
      largest = v;
  # send the result to the next processes, then wait
  # to get the global result
  send values[(i+1) mod n](smallest, largest);
  receive values[i](smallest, largest);
}
```

*Huom: ratkaisussa virhe*




Andrews Fig. 7.13.

## Mikä paras?

- **Keskitetty**
  - 2 *(n-1) sanomaa (yleislähetyksenä n)
- **Symmetrinen**
  - Yksi samanlainen ohjelmakoodi, eri datat
  - n*(n-1) sanomaa
- **Rengas**
  - Huomaa koodissa oleva virhe!
  - 2*n -1 sanomaa

- **Rinnakkaisuus?**
- **Tiedonvälityksen tehokkuus?**

# Synkroninen sanomanvälitys

- **synch-send()**
  - send() ja receive() “kohtaavat”
- **kommunikoivien prosessien synkronointi**
  - naapuri tietää naapurinsa tilan
- **ei tarvitse välttämättä KJ:n apupuskureita**
- **rajoittaa rinnakkaisuutta**
- **Varo lukkiumaa**
  - algoritmit, jotka toimivat asynkronisen kommunikoinnin yhteydessä eivät ehkä enää toimikkaan!
  - toimivatko edelliset min/max esimerkit?



```
process Producer {
  int data[n];
  for [i = 0 to n-1] {
    do some computation;
    synch_send values(data[i]);
  }
}

process Consumer {
  int results[n];
  for [i = 0 to n-1] {
    receive values(results[i]);
    do some computation;
  }
}
```

*Rinnakkaisuus?*

```
channel in1(int), in2(int);
process P1 {
  int value1 = 1, value2;
  synch_send in2(value1);
  receive in1(value2);
}
process P2 {
  int value1, value2 = 2;
  synch_send in1(value2);
  receive in2(value1);
}
```

*Ei OK!*

*Toimivatko edelliset min/max esimerkit?*

**Andrews pp. 319-320**

# Tarkistuskysymyksiä?