# 1 ANALYSOINTI

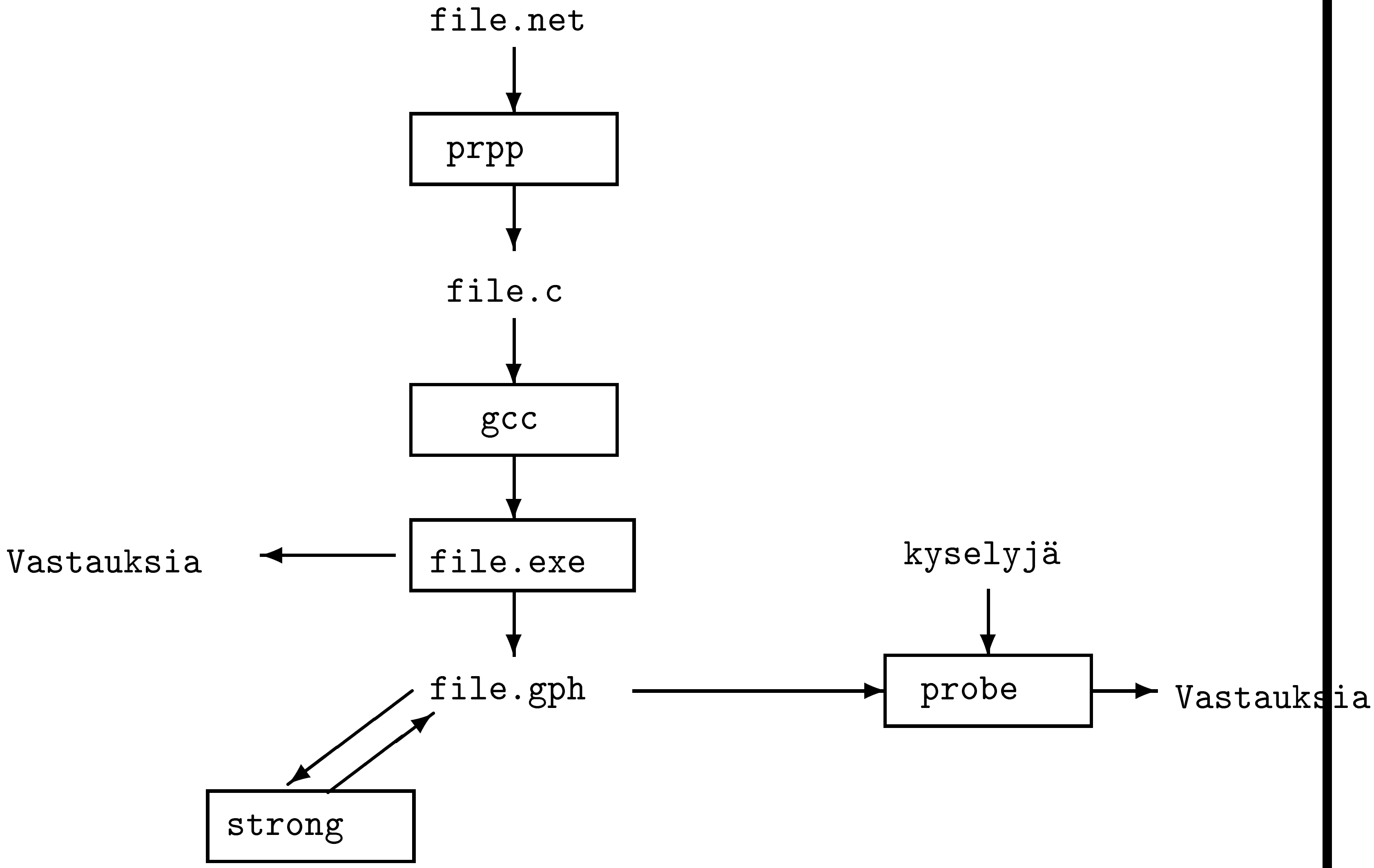
- Annetun järjestelmän analysointi käsin on vaivalloista ja virhealtista.
- Tarvitaan työkaluja joiden avulla analysoinnin eri vaiheet voidaan automatisoida.
- Kaikki olemassaolevat työkaluissa sama periaate:
  - Generoidaan saavutettavuusgraafi tai jokin vastaava rakenne.
  - Käytetään erillaisia ohjelmia ko. graafin tutkimiseen.
- Lista saatavilla olevista PV-työkaluista löytyy osoitteesta:

  `http://www.daimi.au.dk/~petrinet/tools/`

## PROD

- Suunnittelu aloitettu vuonna 1990
- Ensimmäinen versio tehty kokonaan opiskelijatyönä
- Vuosina 92-95 kehitystä rahoittivat TEKES, Nokia, Kone sekä Commit;
- Käytetään teollisuusprojekteissa:
  - FSR-väylän verifoinit: Tele, VTT
  - EMMA: NTC
  - BINAP-protokolla: Tele, Nokia, TEKES
  - Uusia projekteja: UMTS MAC-protokolla, UMTS tietoturva, Nokia, TEKES
  - Uusi korkean tason analysaattori tekeillä: MARIA.
- Hyvää:
  - Paras käytettävissä oleva Pr/T-verkko analysaattori :-)
  - Antaa tehokkaat työkalut saavutettavuusgraafin redusointiin.
- Huonoa:
  - Osittain kryptinen, rivipohjainen käyttöliittymä.
  - Dokumentaatio

## RAKENNE


file.net
prpp
file.c
gcc
file.exe
Vastauksia
file.gph
strong
kyselyjä
probe
Vastauksia

## SYNTAKSI

- C-preprosessorin kieltä on laajennettu verkkokuvausdirektiiveillä:
  - Paikka:

    #**place** *place-name* [ **lo(***lower-limit***)** ]
    [ **hi(***upper-limit***)** ]
    [ **mk(***initial-marking***)** ]
  - Transitio:

    #**trans** *transition-name* [ **fd(***list* **)** ]
    [ **in** {*place-name : input-expression; ...*} ]
    [ **gate** *gate-expression***;** ]
    [ **out** {*place-name : output-expression; ...*} ]
    [ **comp** *C-block* ]
    #**endtr**
  - `PROD` tekee eron input- ja output- muuttujien välillä.
  - *gate-expression* voi sisältää minkä tahansa integer-arvoisen C-kielisen lausekkeen, mutta muuttujat voivat olla vain input-muuttujia.
  - *C-block* voi sisältää mielivaltaista C-koodia. Kutsumalla makroa `Accept();` ilmoitetaan, että transitio on vireessä.
  - Preprosessorimakrojen avulla verkko voidaan *parametrisoida*

## Syntaksi

```
#ifndef n
#define n 5
#endif
#define LEFT(x)  (x)
#define RIGHT(x) (1 + ((x) % n))
#place thinking  lo(<.1.>) hi(<.n.>) mk(<.1..n.>)
#place forks     mk(<.1..n.>)
#place withLeft  lo(<.1.>) hi(<.n.>)
#place eating    lo(<.1.>) hi(<.n.>)
#place withRight lo(<.1.>) hi(<.n.>)
#trans takeLeft
   in  { thinking: <.ph.>; forks: <.LEFT(ph).>; }
   out { withLeft: <.ph.>; }
#endtr
#trans takeRight
   in  { forks: <.RIGHT(ph).>; withLeft: <.ph.>; }
   out { eating: <.ph.>; }
#endtr
#trans putLeft
   in  { eating: <.ph.>; }
   out { withRight: <.ph.>; forks: <.LEFT(ph).>; }
#endtr
#trans putRight
   in  { withRight: <.ph.>; }
   out { thinking: <.ph.>; forks: <.RIGHT(ph).>; }
#endtr
```

```
#enum wack, rts
#enum sack, rtr
#define EMPTY 2
#define  NOT(x) ((x > 0) ? 0 : 1)

#place Sender lo(<.0,rts.>) hi(<.1,wack.>) mk(<.0, rts.>)
#place Receiver lo(<.0,rtr.>) hi(<.1,sack.>) mk(<.0, rtr.>)
#place Data lo(<.0.>) hi(<.EMPTY.>) mk(<.EMPTY.>)
#place Ack lo(<.0.>) hi(<.EMPTY.>)  mk(<.EMPTY.>)

#trans tout
        in { Sender: <.b, wack.>; }
        out { Sender: <.b, rts.>; }
#endtr
#trans sdata
        in { Sender: <.b, s.>; Data: <.EMPTY.> ; }
        out { Sender: <.b, s1.>; Data: <.b.>; }
        comp { if (s == rts) { s1 = wack;  Accept(); }}
#endtr
#trans ldata
        in { Data: <.b.>;}
        out { Data: <.EMPTY.>;}
        gate (b != EMPTY);
#endtr
#trans rdata
        in { Data: <.b.>; Receiver: <.b1, rtr.>; }
        out { Data: <.EMPTY.>; Receiver: <.b, sack.>; }
        gate (b!= EMPTY);
#endtr
#trans sack
        in { Receiver: <.b, sack.>; Ack: <.EMPTY.>;}
        out { Receiver: <.b1, rtr.>; Ack: <.b.>;}
        comp { b1 = NOT(b); Accept(); }
#endtr
#trans lack
        in { Ack: <.b.>;}
        out { Ack: <.EMPTY.>;}
        gate (b != EMPTY);
#endtr
#trans rack
        in {Ack: <.b.>; Sender: <.b1, wack.>; }
        out {Ack: <.EMPTY.>; Sender: <.b2, s1.>; }
        gate (b != EMPTY);
        comp { if (b1 == b) {
                        s1 = rts; b2 = NOT(b); Accept();
                } else if (b1 == NOT(b)) {
                        s1 = wack; b2 = b1; Accept();
        }
        }
#endtr
```

## Käyttö

- Oletetaan, että filosofiverkko on talletettu tiedostoon `ph.net`
- Ajetaan prod:

```
(topos) prod/sample %: prod ph.init
```

- Ajetaan generoitu saavutettavuusgraafigeneraattori:

```
(topos) prod/sample %: ph -.
........................
```

- Lasketaan vahvasti kytketyt komponentit:

```
(topos) prod/sample %: strong ph
```

- Käynnistetään graafintutkintaohjelma:

```
(topos) prod/sample %: probe ph
```

- Kysellään yleisiä tietoja:

```
0#statistics
Number of nodes: 242
Number of arrows: 805
Number of terminal nodes: 1
Number of nodes that have been completely
processed: 242
Number of strongly connected components: 2
Number of nontrivial terminal strongly
connected components: 0
```

## KÄYTTÖ

- Tarkastellaan erityisiä valmiiksi laskettuja solmujoukkoja:

```
0#sets
Strongly connected components: %%0..%%1
Special sets:
%0: ** terminal nodes **
```

- Tarkastellaan lukkiumaa:

```
0#showends %0
Node 91, belongs to strongly connected
component %%0
withLeft: <.1.> + <.2.> + <.3.> + <.4.> +
<.5.>
------------------------
1 path end nodes
------------------------
```

## Vahvasti kytketyt komponentit

- Suunnatun graafin on vahvasti kytketty komponentti on aligraafi jonka jokaisesta solmusta on polku jokaiseen toiseen aligraafin solmuun.
- Yksittäinen solmu muodostaa triviaalisti vahvasti kytketyn komponentin.
- `strong` laskee saavutettavuusgraafin *maksimaalisesti* vahvasti kytketyt komponentit.
- Saavutettavuusgraafin *maksimaalisesti* vahvasti kytketyt komponentit muodostavat graafin.
- Tyypillisesti reaktiivisessa järjestelmässä tulisi olla vain yksi ei-triviaali terminaalinen vahvasti kytketty komponentti. Tämä siksi, että järjestelmässä ei saisi olla toimintoja, joita ei päästä suorittamaan.

## KÄYTTÖ

- Tarkastellaan vahvasti kytkettyjä komponentteja:

```
0#allcomps
Component %%0
-----------------------------------------------
  91
%%0 has 1 nodes
-----------------------------------------------
Component %%1
-----------------------------------------------
   0,       1,       2,       3,       4,       5,       6,       7,
   8,       9,      10,      11,      12,      13,      14,      15,
  16,      17,      18,      19,      20,      21,      22,      23,
  24,      25,      26,      27,      28,      29,      30,      31,
  32,      33,      34,      35,      36,      37,      38,      39,
  40,      41,      42,      43,      44,      45,      46,      47,
  48,      49,      50,      51,      52,      53,      54,      55,
  56,      57,      58,      59,      60,      61,      62,      63,
  64,      65,      66,      67,      68,      69,      70,      71,
  72,      73,      74,      75,      76,      77,      78,      79,
  80,      81,      82,      83,      84,      85,      86,      87,
  88,      89,      90,      92,      93,      94,      95,      96,
  97,      98,      99,     100,     101,     102,     103,     104,
 105,     106,     107,     108,     109,     110,     111,     112,
 113,     114,     115,     116,     117,     118,     119,     120,
 121,     122,     123,     124,     125,     126,     127,     128,
 129,     130,     131,     132,     133,     134,     135,     136,
 137,     138,     139,     140,     141,     142,     143,     144,
 145,     146,     147,     148,     149,     150,     151,     152,
 153,     154,     155,     156,     157,     158,     159,     160,
 161,     162,     163,     164,     165,     166,     167,     168,
 169,     170,     171,     172,     173,     174,     175,     176,
 177,     178,     179,     180,     181,     182,     183,     184,
```

```
 185,     186,     187,     188,     189,     190,     191,     192,
 193,     194,     195,     196,     197,     198,     199,     200,
 201,     202,     203,     204,     205,     206,     207,     208,
 209,     210,     211,     212,     213,     214,     215,     216,
 217,     218,     219,     220,     221,     222,     223,     224,
 225,     226,     227,     228,     229,     230,     231,     232,
 233,     234,     235,     236,     237,     238,     239,     240,
 241
%%1 has 241 nodes
------------------------------------------------
2 strongly connected components
------------------------------------------------
0#
```

# Käyttö

- Etsitään vielä eräs lukkiumaan johtanut transitiosekvenssi:

```
0#query volatile verbose bspan(true) %0
PATH
Node 0, belongs to strongly connected component %%1
  thinking: <.1.> + <.2.> + <.3.> + <.4.> + <.5.>
  forks: <.1.> + <.2.> + <.3.> + <.4.> + <.5.>
Arrow 0: transition takeLeft, precedence class 0
  ph = 1
Node 1, belongs to strongly connected component %%1
  thinking: <.2.> + <.3.> + <.4.> + <.5.>
  forks: <.2.> + <.3.> + <.4.> + <.5.>
  withLeft: <.1.>
Arrow 0: transition takeLeft, precedence class 0
  ph = 2
Node 6, belongs to strongly connected component %%1
  thinking: <.3.> + <.4.> + <.5.>
  forks: <.3.> + <.4.> + <.5.>
  withLeft: <.1.> + <.2.>
Arrow 0: transition takeLeft, precedence class 0
  ph = 3
Node 21, belongs to strongly connected component %%1
  thinking: <.4.> + <.5.>
  forks: <.4.> + <.5.>
  withLeft: <.1.> + <.2.> + <.3.>
Arrow 0: transition takeLeft, precedence class 0
  ph = 4
Node 51, belongs to strongly connected component %%1
  thinking: <.5.>
  forks: <.5.>
  withLeft: <.1.> + <.2.> + <.3.> + <.4.>
Arrow 0: transition takeLeft, precedence class 0
  ph = 5
Node 91, belongs to strongly connected component %%0
  withLeft: <.1.> + <.2.> + <.3.> + <.4.> + <.5.>
------------------------------------------------
1 paths
------------------------------------------------
```

## Käyttö

- Tiloja ja tilasiirtymiä voi tutkia seuraavien komentojen avulla:
  - `look` $n$: tulostaa merkinnän $n$ sisällön
  - `succ` $n$: tulostaa merkinnän $n$ seuraajamerkinnät sekä mitä kautta niihin päästään.
  - `pred` $n$: tulostaa merkinnän $n$ edeltäjämerkinnät sekä mitä kautta niihin päästään.
  - `next` $n$: siirrytään kaarta $n$ pitkin seuraavaan merkintään.

  Jos komennosta jätetään merkinnän numero pois, tarkastellaan aktiivista merkintää. Aktiivista merkintää voi vaihtaa `goto` $n$ komennon avulla.
- `probe`:n palauttaman informaation määrä voi säätää antamalla `query` komennon yhteydessä optiot `mute`, `verbose` tai `superverbose`. Oletusarvo on `mute`:n ja `verbose`:n välissä.

# Testerit

- Usein koko saavutettavuusgraafin generointi ei ole mahdollista. Esim. $n$:n filosofin saavutettavuusgraafissa on

| | |
|---|---|
| $3^n - 1$ | solmua, ja |
| $n \cdot (2 \cdot 3^{n-1} - 1)$ | kaarta. |

```
n =  0, s =         0, k =         0
n =  1, s =         1, k =         1
n =  2, s =         3, k =        10
n =  3, s =         9, k =        51
n =  4, s =        27, k =       212
n =  5, s =        81, k =       805
n =  6, s =       243, k =      2910
n =  7, s =       729, k =     10199
n =  8, s =      2187, k =     34984
n =  9, s =      6561, k =    118089
n = 10, s =     19683, k =    393650
n = 11, s =     59049, k =   1299067
n = 12, s =    177147, k =   4251516
n = 13, s =    531441, k =  13817453
n = 14, s =   1594323, k =  44641030
n = 15, s =   4782969, k = 143489055
n = 16, s =  14348907, k = 459165008
```

# Testerit

- Jos saavutettavuusgraafin koko tekee sen täydellisen generoimisen mahdottomaksi, voidaan kuitenkin usein virheitä löytää seuraavan menetelmän avulla:
  - Sen sijaan että virhettä etsitään generoidusta graafista *testataan* jokaista merkintää graafia generoitaessa.
  - Tällaista menetelmää kutsutaan *on-the-fly* (lennossa) verifioinniksi.
- `PROD` tukee seuraavien virheiden etsintää lennosta *testerien* avulla:
  1. lukkiumat (`deadlock`)
  2. yleinen virheellinen tila (`reject`)
  3. pillastumat (`livelock`)
  4. äärettömät polut (`infinite`)

  Lisäksi on mahdollista määritellä testeri temporaalilogiikan avulla.

## TESTERIT

- Lennossa verifioinnin perusidea on, että verkkoon kytketään erityinen *testeri*-paikka siten, että siihen tulee merkintä ainostaan kun jokin haluttu virhe on verkossa tapahtunut.
- `livelock`- ja `infinite`-testerit etsivät saavutettavuusgraafista silmukkaa joka kulkee testeri-paikan kautta. Tämän kurssin puitteissa ei `infinite`-testeriä tarvita.

# Testeri

- Lukkiuman tai pillastuman etsiminen testerin avulla on yksinkertaista:

  ```
  #place tester lo(<.0.>) hi(<.0.>) mk(<.0.>)
  #tester tester deadlock(<.0.>)
  ```

  tai

  ```
  #place tester lo(<.0.>) hi(<.0.>) mk(<.0.>)
  #tester tester livelock(<.0.>)
  ```

  `PROD` osaa itse kytkeä paikan verkkoon.
- Jos halutaan tarkastella jotain tiettyä virhettä voidaan se tehdä kytkemällä testeri päälle verkosta käsin.
- Oletetaan, että halutaan tarkistaa, että filosofi $n$ ei kuole nälkään. Filosofin $n$ nääntyminen tarkoittaa, että graafissa on silmukka jonka jokaisessa merkinnässä paikan `withLeft` merkintä sisältää filosofin $n$.
- Transito `takeLeft` kytketään testeripaikkan siten, että sen merkinnäksi tulee `<.1.>` kun filosofi $n$ saa vasemman haarukan.
- Vastaavasti transitio `takeRight` kytketään testeripaikkan siten, että sen merkinnäksi palautuu `<.0.>` kun filosofi $n$ saa oikean haarukan.

# Testerit

- Verkosta tulee nyt seuraavanlainen:

```
#define n 5
#define LEFT(x)  (x)
#define RIGHT(x) (1 + ((x) % n))
#place thinking  lo(<.1.>) hi(<.n.>) mk(<.1..n.>)
#place forks     mk(<.1..n.>)
#place withLeft  lo(<.1.>) hi(<.n.>)
#place eating    lo(<.1.>) hi(<.n.>)
#place withRight lo(<.1.>) hi(<.n.>)
#place tester    lo(<.0.>) hi(<.1.>) mk(<.0.>)
#tester tester   livelock(<.1.>)
#trans takeRight
   in  { forks: <.RIGHT(x).>; withLeft: <.x.>;
         tester: (x == n)<.1.>; }
   out { eating: <.x.>; tester: (x == n)<.0.>; }
#endtr
#trans takeLeft
   in  { thinking: <.x.>; forks: <.LEFT(x).>;
         tester: (x == n)<.0.>; }
   out { withLeft: <.x.>; tester: (x == n)<.1.>; }
#endtr
#trans putLeft
   in  { eating: <.x.>; }
   out { withRight: <.x.>; forks: <.LEFT(x).>; }
#endtr
#trans putRight
   in  { withRight: <.x.>; }
   out { thinking: <.x.>; forks: <.RIGHT(x).>; }
#endtr
```

# Testeri

- Pillastumaa päästään tarkastelemaan seuraavasti:
  - Saavutettavuusgraafigenerattori ilmoittaa löydetyn silmukan:

```
(topos) prod/philosphers %: prod dining.init
(topos) prod/philosphers %: dining -.

Livelock reached
Loop 5 [1> 7 [0> 11 [0> 15 [0> 18 [0> 21 [1> 24 [1> 27 [3> 5
For more information, start "probe dining"
and look at the set %1
```

  - Silmukkaan johtava polku on seuraava:

```
(topos) prod/philosphers %: probe ph
0#query bspan(true) %1
   0  [4>    5
1 paths
Built set %2
------------------------------------------------
```