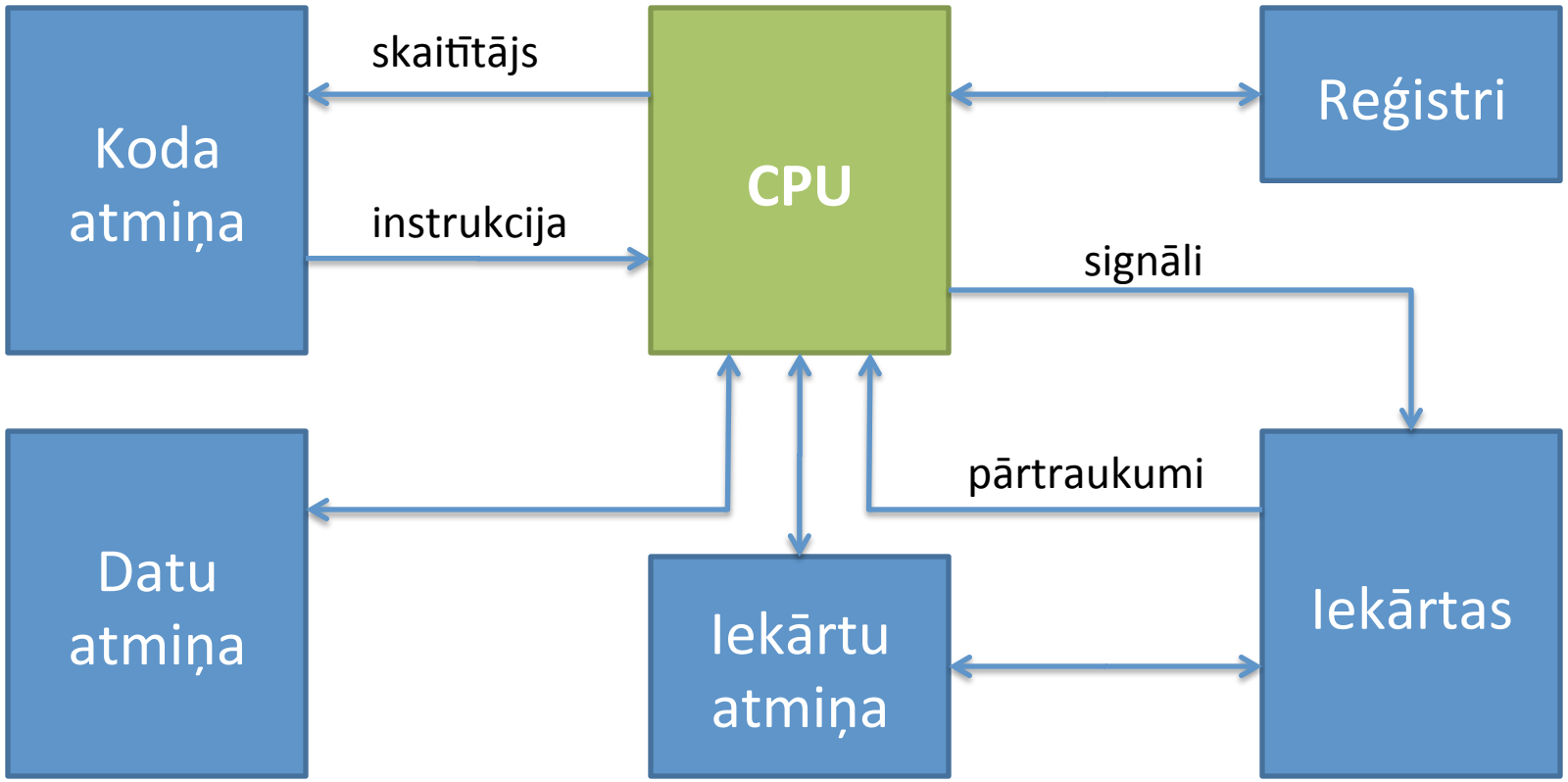
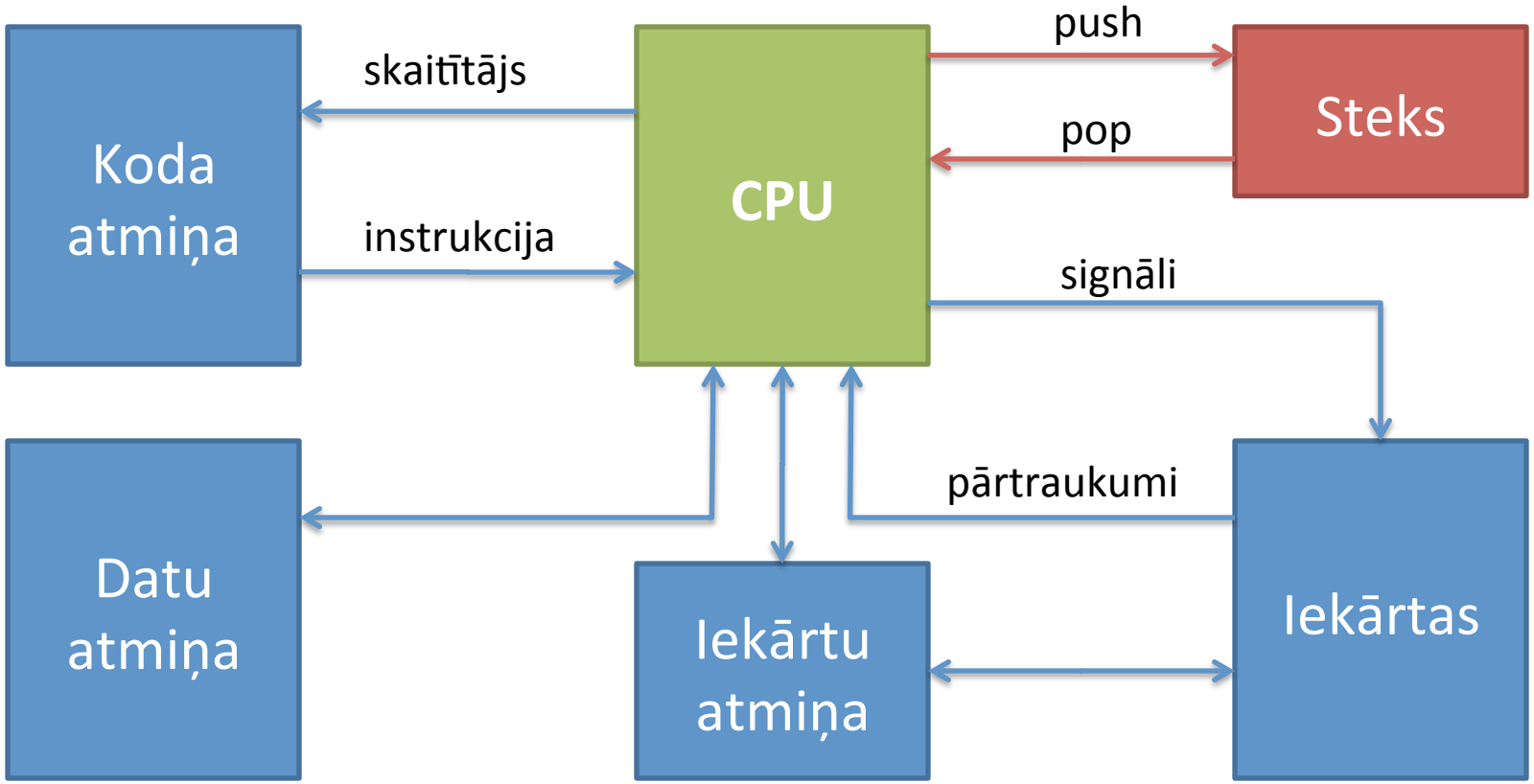
Bezvadu sensoru tīklu virtuālās mašīnas

Uldis Bojārs
Kurss “Bezvadu sensoru tīkli” [B]
Datorikas fakultāte
Latvijas Universitāte
5.dec.2012.

Kā ir uzbūvēts dators?


Koda atmiņa
skaitītājs
instrukcija
CPU
Reģistri
signāli
pārtraukumi
Datu atmiņa
Iekārtu atmiņa
Iekārtas

Steka mašīna



Kā steks aizvieto reģistrus

- Veikt operāciju 2+3
- Rezultātu saglabāt atmiņā ar adresi 100

Reģistru pieeja:

```
set r1, 2
add r1, 3
store r1, [100]
```

Steka pieeja:

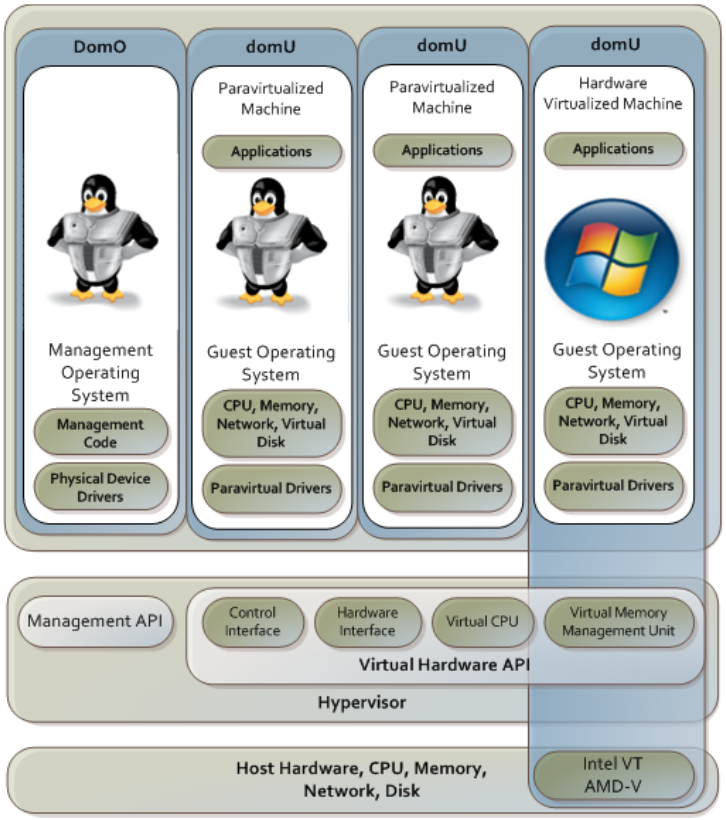
```
push 2
push 3
add
store [100]
```

Kas labāks?

- Reģistriem: mazāk instrukciju
- Stekam: īsākas instrukcijas

- Kopsummā steka mašīnām programmas īsākas

Kur izmanto virtuālās mašīnas?

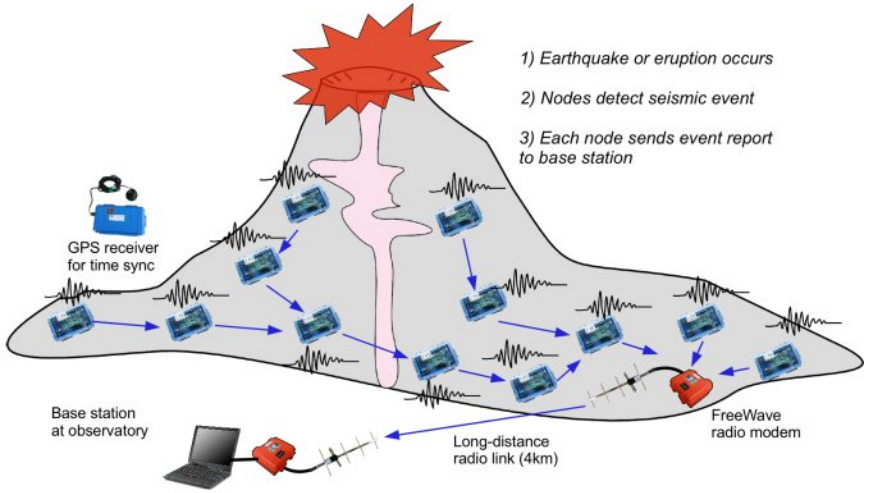


1 reāls dators = n virtuāli datori

Kāds BST labums no VM?

BST motivācija

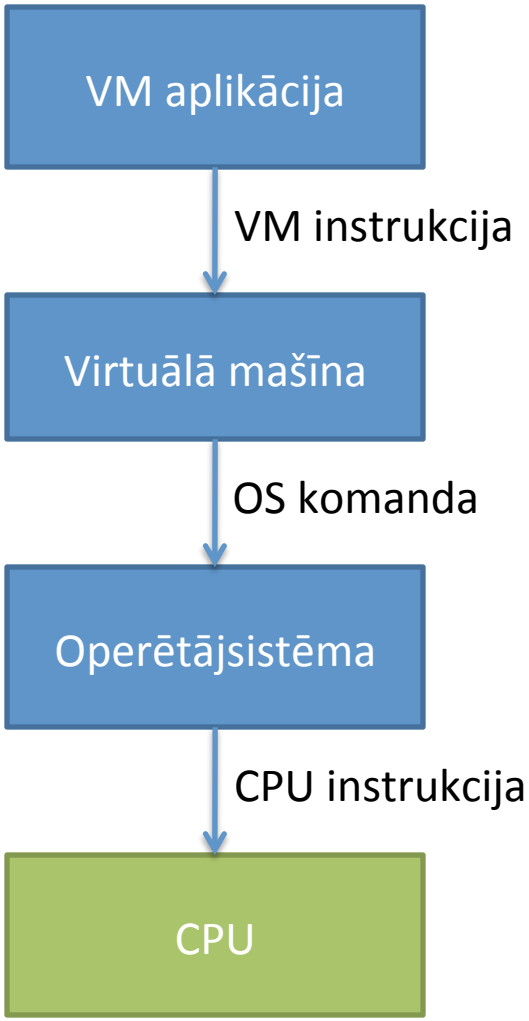
- Motes ir jā(pār)programmē
- Gribas:
  - Ātri
  - Droši
  - Plašas iespējas



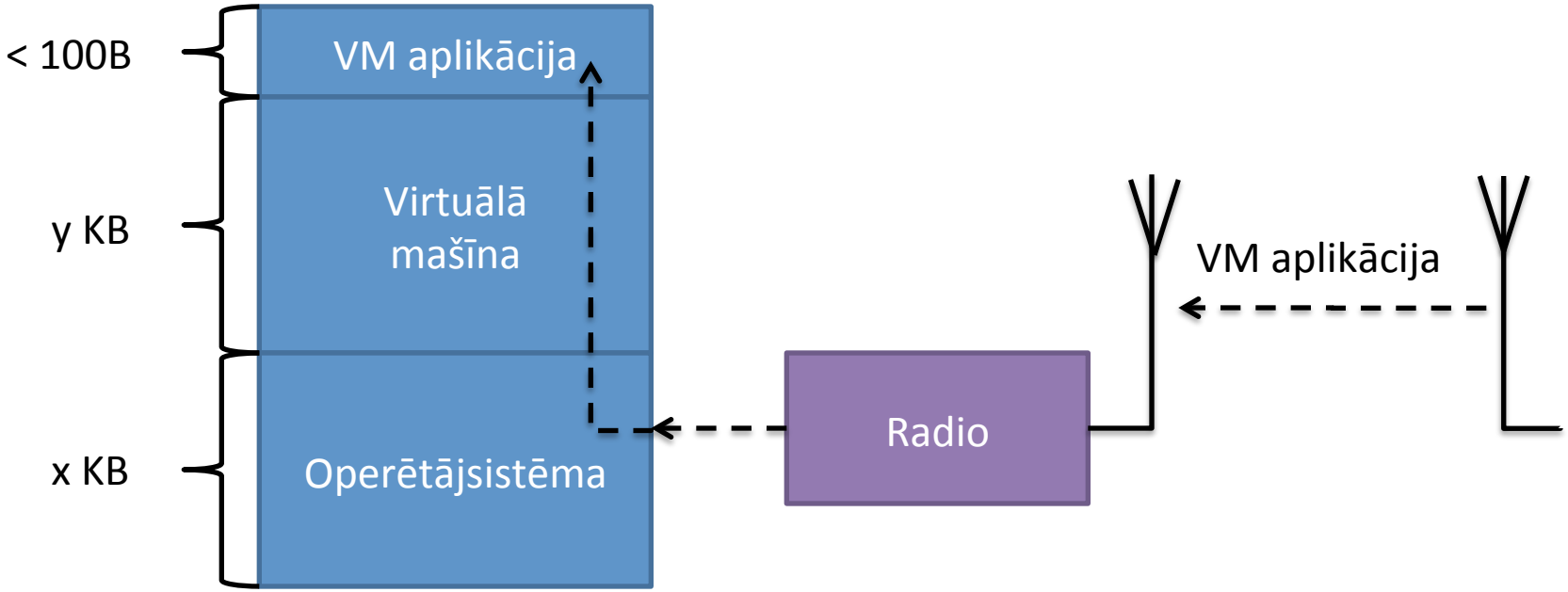
http://fiji.eecs.harvard.edu/Volcano

- Risinājums: samazināt koda izmēru

Kā darbojas VM uz motes?



Motes pārprogrammēšana



- VM aplikācija izmēros stipri mazāka par OS un VM kodu

Maté virtuālā mašīna

- UC Berkeley, 2002.g
- Komunikācijas centrēta VM sensoru tīkliem
- Mazas programmas
- Ērta programmu “virusāla” izplatīšana

Maté tēja

http://www.sciencedaily.com/releases/2007/10/071023163949.htm

P. Levis and D. Culler, “Mate: A tiny virtual machine for sensor networks,” ACM SIGARCH Computer Architecture News, vol. 30, no. 5, pp. 85–95, 2002.

- P. Levis and D. Culler,

  “Mate: A tiny virtual machine for sensor networks”

- ACM SIGARCH Computer Architecture News, vol. 30, no. 5, pp. 85–95, 2002.

Mērķi

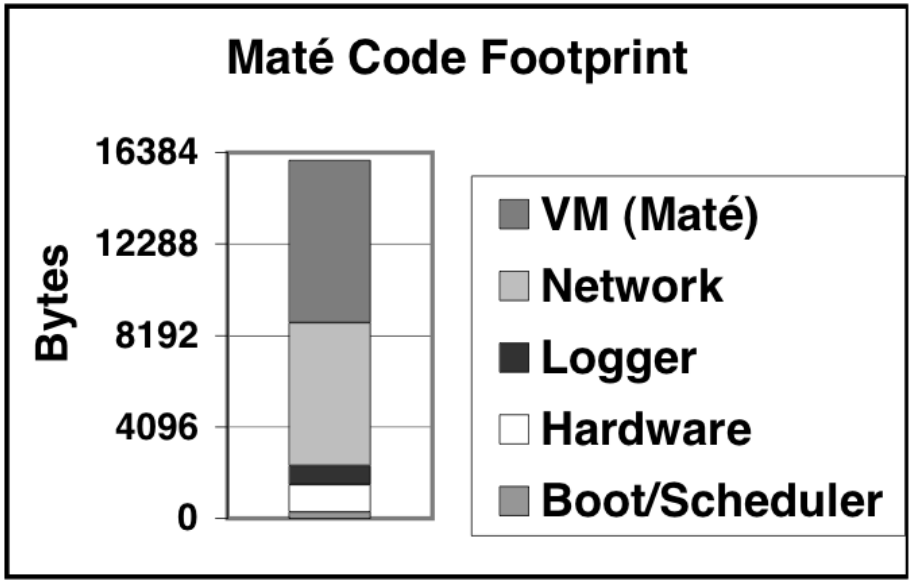
BST programmēšanas sistēmai jābūt:

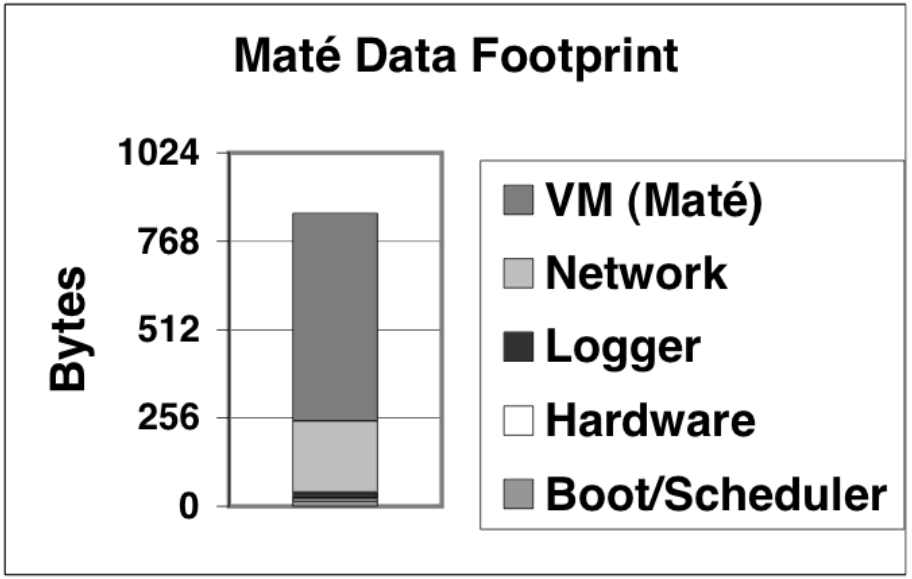
- Nelielai
- Izteiksmīgai
- Kodolīgai
- Drošai
- Efektīvai
- Pielāgojamai
- Vienkāršai

Sistēmai jābūt:

- Nelielai (lai sistēma ietilptu motes atmiņā)
- Izteiksmīgai (lai var radīt dažādas aplikācijas)
- Kodolīgai (arī aplikācijām jābūt īsām)
  - lai taupītu pārprogrammēšanai vajadzīgo enerģiju
- Drošai (programmas nedrīkst “nograut” moti)
- Efektīvai (jātaupa enerģija)
- Pielāgojamai
- Vienkāršai (aplikāciju izstrādei)

Mate aplikācijas izmēri





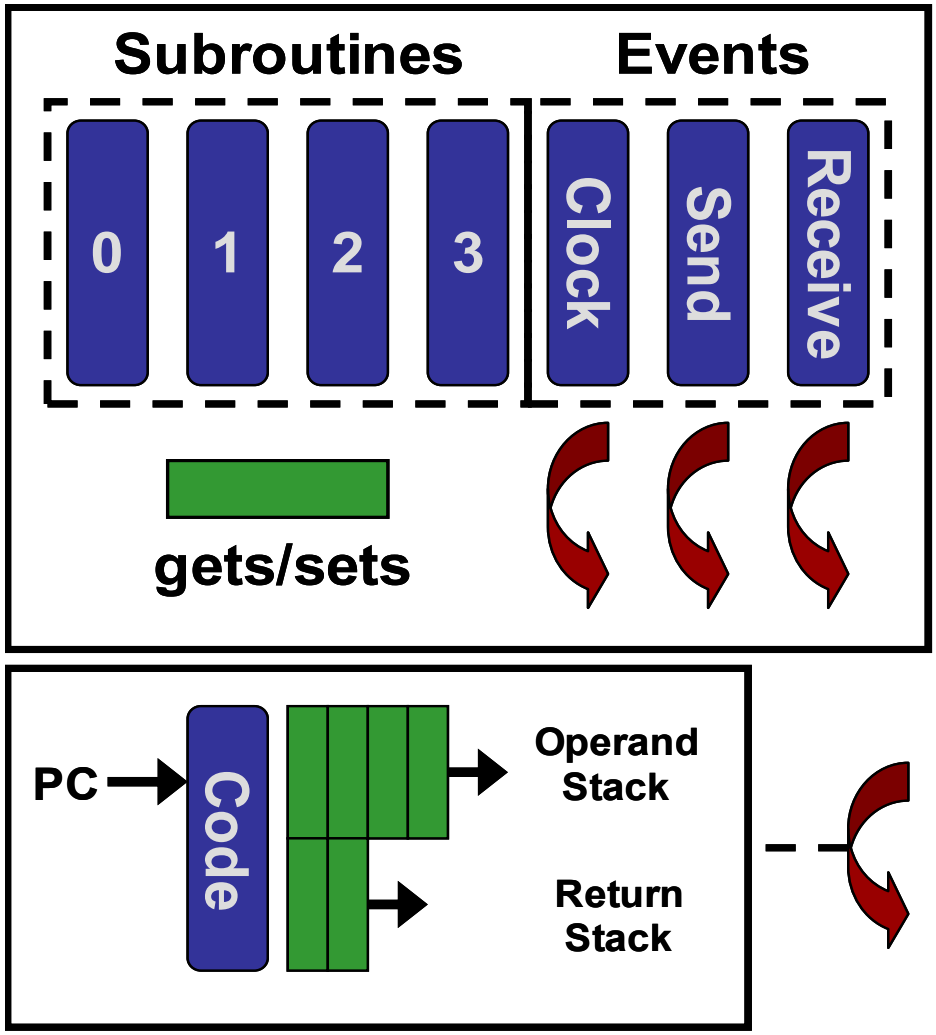
Component	Code (bytes)	Data (bytes)
VM (Maté)	7286	603
Network	6410	206
Logger	844	18
Hardware	1232	8
Boot/Scheduler	272	14
Total	16044	849

Mate instrukciju kopa

basic	`00iiiiii`	`i` = instruction
s-class	`01iiixxx`	`i` = instruction, `x` = argument
x-class	`1ixxxxxx`	`i` = instruction, `x` = argument

- basic: aritmētika, LEDi, halt
- s-class: atmiņa
- x:-class: push const, branch if <=

Mate izpildes konteksti



Mate CounterToLeds aplikācija

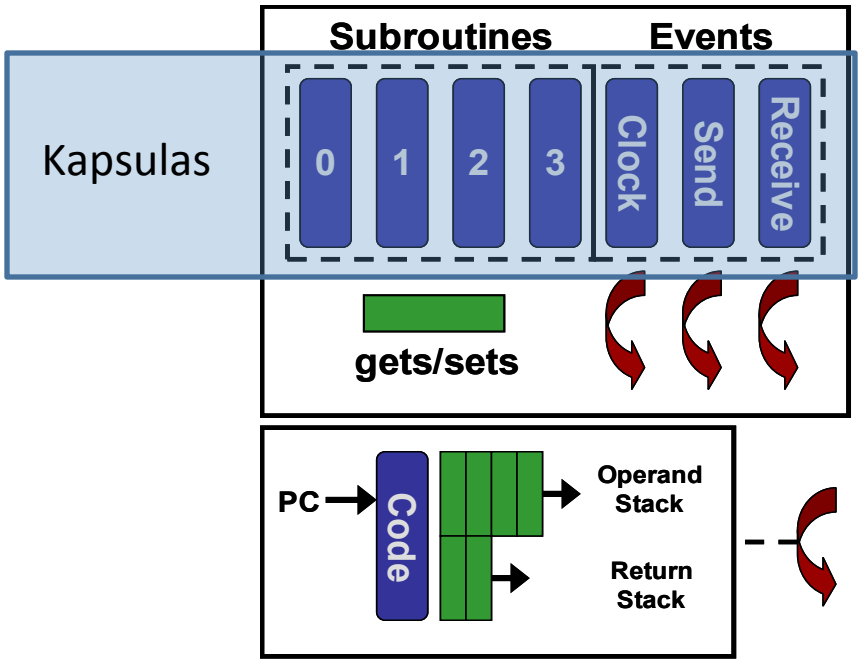
```
pushc 1       # Push one onto operand stack
add           # Add the one to the stored counter
copy          # Copy the new counter value
pushc 7
and           # Take bottom three bits of copy
putled        # Set the LEDs to these three bits
halt
```

Mate SenseAndSend

```
pushc 1     # Light is sensor 1
sense       # Push light reading on stack
pushm       # Push message buffer on stack
clear       # Clear message buffer
add         # Append reading to buffer
send        # Send message using built-in
halt        # ad-hoc routing system
```

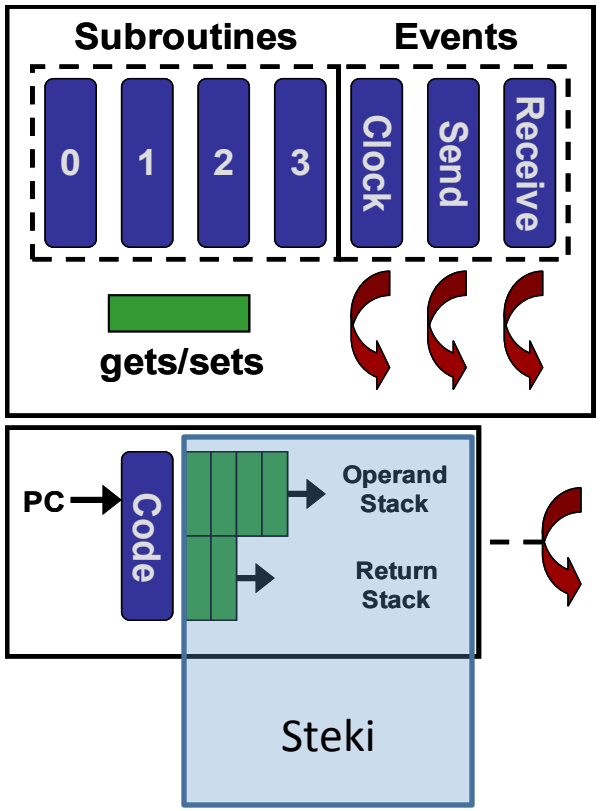
Mate koda kapsulas

- Katra kapsula viena konteksta apstrādei
- Max 24 instrukcijas kapsulā (24B)
- Ja vajag vairāk – apakšprogrammas
- Katrai kapsulai 32bitu versijas numurs



Mate steki

- Katram kontekstam 2 steki:
  - Operandu steks (16B), instrukciju parametri
  - Izsaukumu steks (8B), apakšprogrammām
- Clock konteksts steku saglabā starp izsaukumiem



Mate apakšprogrammas

```
pushc 3   // izsauc apakšprogrammu #3
call
```

- Atgriešanās adresi ieliek izsaukumu stekā

Mate statiskais mainīgais

- Tikai viens globālais mainīgais
- Kopīgs visiem kontekstiem
- Instrukcijas:
  - `sets`: vērtību no steka ieraksta mainīgajā
  - `gets`: otrādi

Konteksta kapsulas izpilde

- Iestājas notikums
- Tiek palaista attiecīgā kapsula
- Katra instrukcija kā TinyOS uzdevums
- Konteksti var izpildīties paralēli
- Apstājas pie `halt`

- Kāds notikums izsauc Send kontekstu?

Mate SendOnSenseChange

```
pushc 1     # Push one on the operand stack
sense       # Read sensor 1 (light)
copy        # Copy the sensor reading
gets        # Get previous sent reading

inv         # Invert previous reading
add         # Current - previous sent value
pushc 32
add

blez  17    # If curr < (prev-32) jump to send
copy        # Copy the sensor reading
inv         # Invert the current
gets        # Get the previous reading

add         # Previous - current
pushc 32
add
blez  17    # If (curr+32) > prev jump to send

halt
copy        # PC 17 -- jump-to point from above
sets        # Set shared var to current reading
pushm       # Push a message onto operand stack

clear       # Clear out the message payload
add         # Add the reading to message payload
send        # Send the message
halt
```

Mate koda izmēri

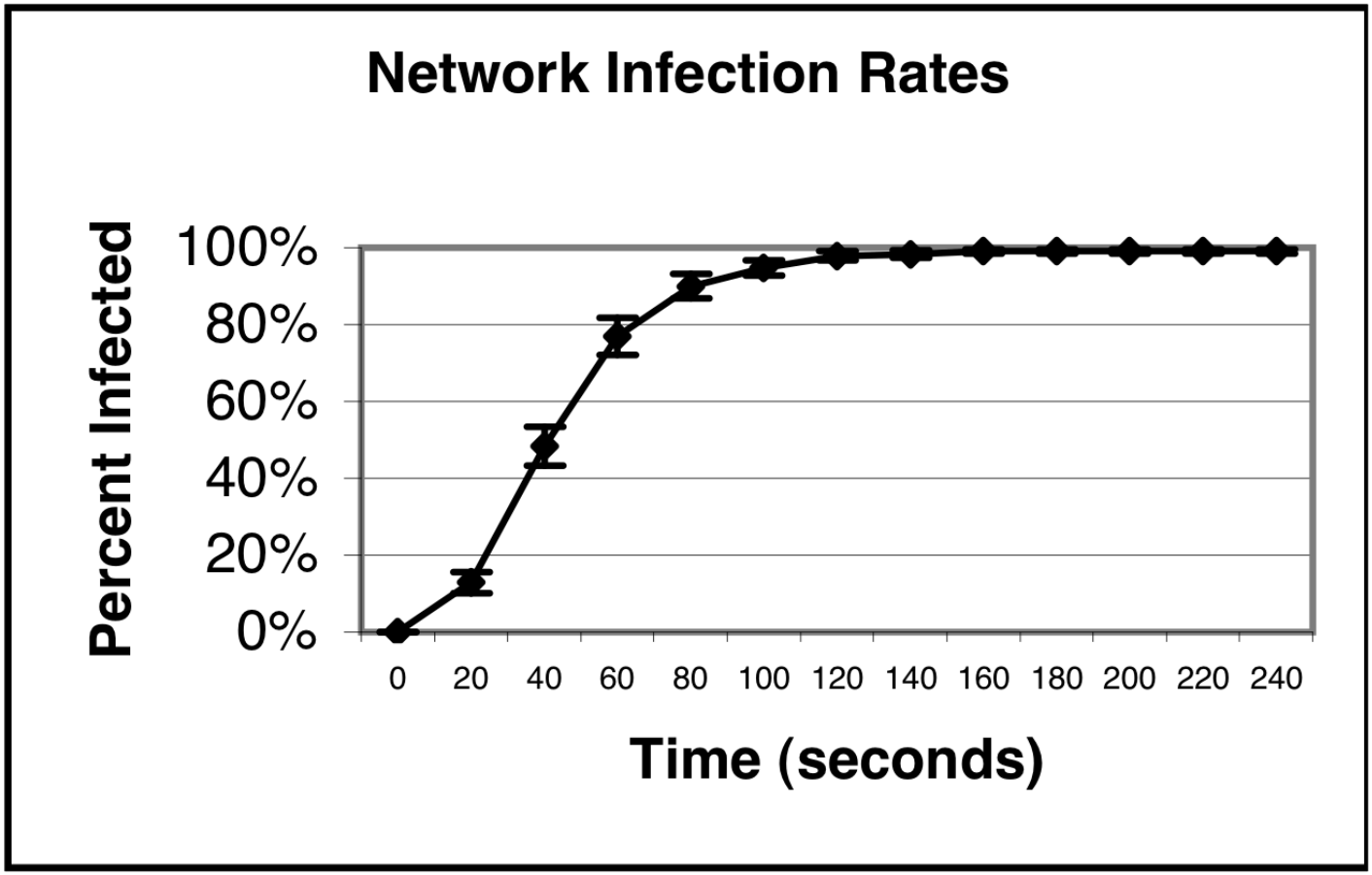
	Binary		Maté	
Application	Size(bytes)	Install Time	Capsules	Instructions
sens_to_rfm	5394	≈79s	1	6
gdi-comm	7130	≈104s	1	19
bless_test	7381	≈108s	7	108

Mate veiktspēja

Operation	Maté Clock Cycles	Native Clock Cycles	Cost
Simple: `and`	469	14	33.5:1
Downcall: `rand`	435	45	9.5:1
Quick Split: `sense`	1342	396	3.4:1
Long Split: `sendr`	685+≈20,000	≈20,000	1.03:1

- Veiktspēja cieš
- Enerģijas patēriņu tas maz ietekmē

Mate infektoloģija



42 motes, 3 x 14 režģis

Mate kopsavilkums

- Viena no pirmajām BST VM
- “Tālāk no dzelžiem”
  - nevar izdarīt neko sliktu
  - nav asinhrona izpilde
- Maza izmēra aplikācijas kods (<100B)
- Ērta pārprogrammēšana
- Veiktspēja zema, bet energo efektivitāte no tā daudz necieš

Vaicājumu (query) – bāzētā pieeja

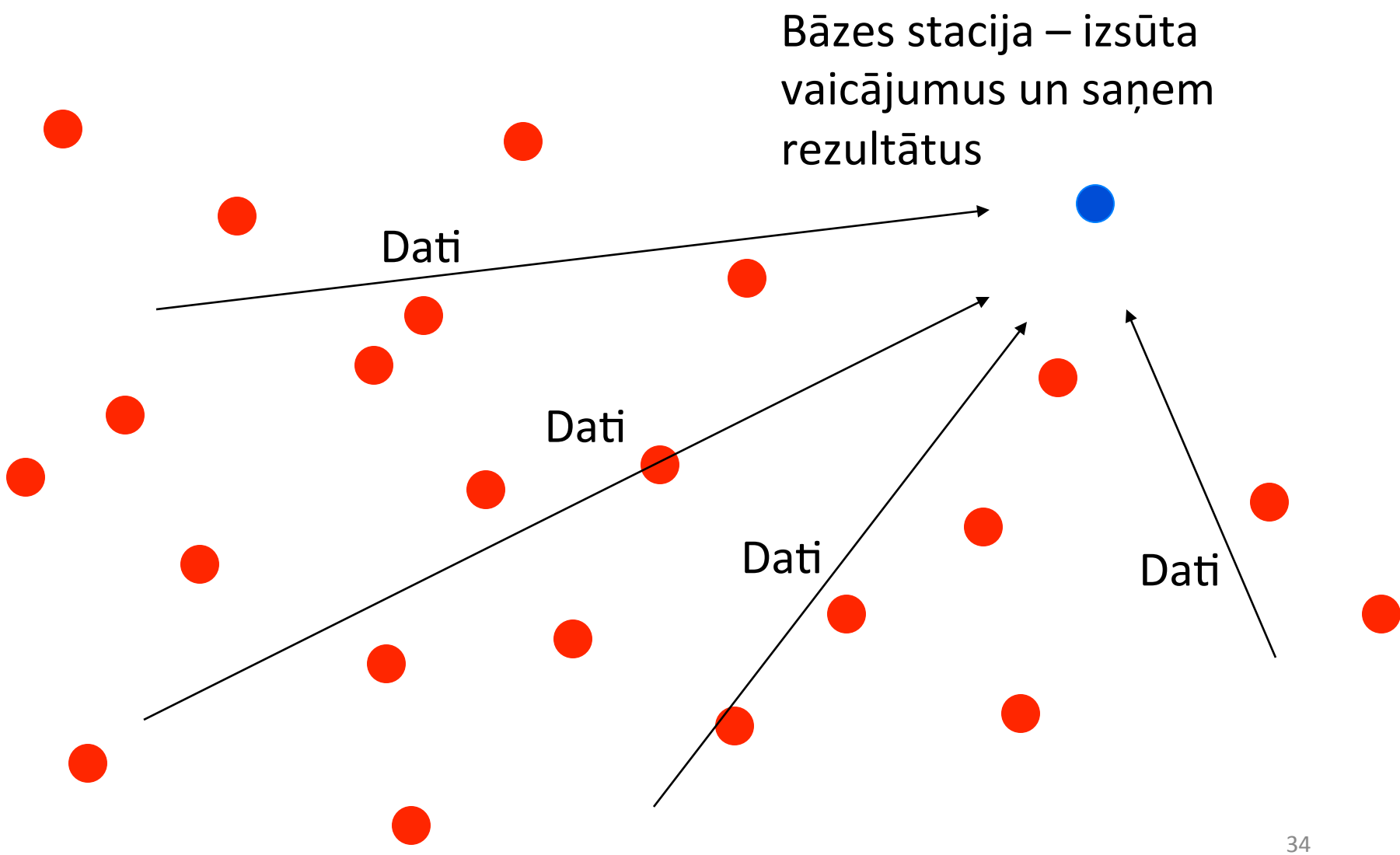
Sensoru tīkla uzdevums

Savākt informāciju:

- Jēlo datu interpretācija
- Informācijas apstrāde, agregācija
- Rezultātu nogādāšana līdz apstrādes vietai

Kāpēc nesūtīt visu uz bāzes staciju?

Tipiska vaicājumu pieejas arhitektūra



Vaicājumu pieejas piemērs: TinyDB

- SQL-tipa dalītā datu bāze sensoru tīkliem
- Darbojas kā slānis virs TinyOS
- Visi sensoru mezgli kā daļa no tabulas
- Katrs sensoru lasījums kā viens ieraksts
- Vaicājumus izsūta un atbildes savāc bāzes stacija

- Sīkāk rakstā: S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, “TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks,” ACM Transactions on Database Systems (TODS), vol. 30, no. 1, pp. 122–173, 2005.

TinyDB piemēri

```
SELECT nodeid, light, temp
  FROM sensors
  SAMPLE PERIOD 1s FOR 10s

SELECT AVG(volume), room FROM sensors
  WHERE floor = 6
  GROUP BY room
  HAVING AVG(volume) > threshold
  LIFETIME 180 days
```

Datu uzkrāšana mezglos

```
CREATE
  STORAGE POINT recentlight SIZE 8
  AS (SELECT nodeid, light FROM sensors
  SAMPLE PERIOD 10s)

SELECT COUNT(*)
  FROM sensors AS s, recentLight AS rl
  WHERE rl.nodeid = s.nodeid
  AND s.light < rl.light
  SAMPLE PERIOD 10s
```

TinyDB kopsavilkums

- Dalītā datu bāze sensoru tīkliem
- Slānis virs TinyOS [1.x]
- Piedāvā vienkāršu saskarni, efektīvu agregāciju

Trūkumi:

- Paplašināmība
- Iebūvēta vaicājumu valoda ierobežo
  - nevar veidot patvaļīgas programmas

SwissQM virtuālā mašīna

- ETH Zurich, 2007.g

- Izteiksmīgāka par TinyDB
- Kompaktāka par Mate

- QM = Query Machine
  - Query [Engine] + [Virtual] Machine

R. Muller, G. Alonso, and D. Kossmann, “A virtual machine for sensor networks,” in Proceedings of the 2nd ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2007, pp. 145–158, ACM, 2007.

- R. Muller, G. Alonso, and D. Kossmann, "A virtual machine for sensor networks," in Proceedings of the 2nd ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2007, pp. 145–158, ACM, 2007.

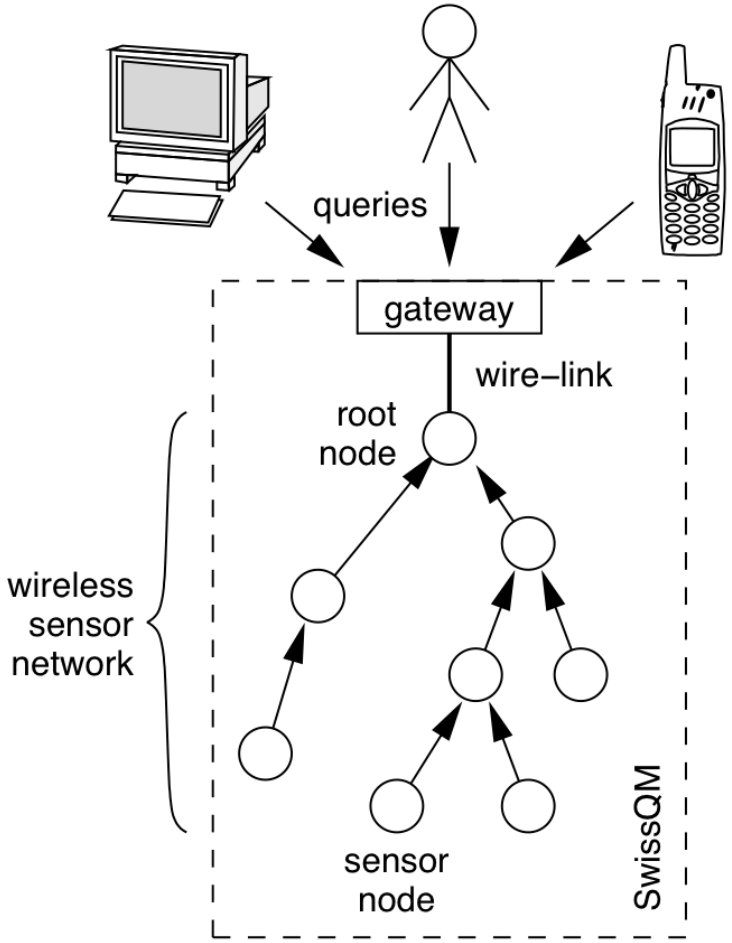
- R. Muller, G. Alonso, and D. Kossmann, "SwissQM: Next Generation Data Processing in Sensor Networks," in 3rd Biennial Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR) January 7-10, 2007, Asilomar, CA, USA.

Mērķi / prasības

- Sensoru megli atdalīti no [ārējiem] vaicājumu interfeisiem
- Dinamiska, multi-user, multi-programmu BST izstrādes sistēma
- Motes dara tikai to, kas nepieciešams tiešo uzdevumu veikšanai
- Paplašināmība
  - izstrādātāju definētas funkcijas, aplikācijas
  - pašas SwissQM sistēmas paplašināmība

SwissQM pieeja

- Gateway kā ”gudrais mezgls”
  - vaicājumu pārveidošana mezglu programmās
  - vaicājumu merging
  - multi-query optimization
- Paaugstina efektivitāti
  - motes izpilda tikai to, kas vajadzīgs (sense, aggregate, transmit)

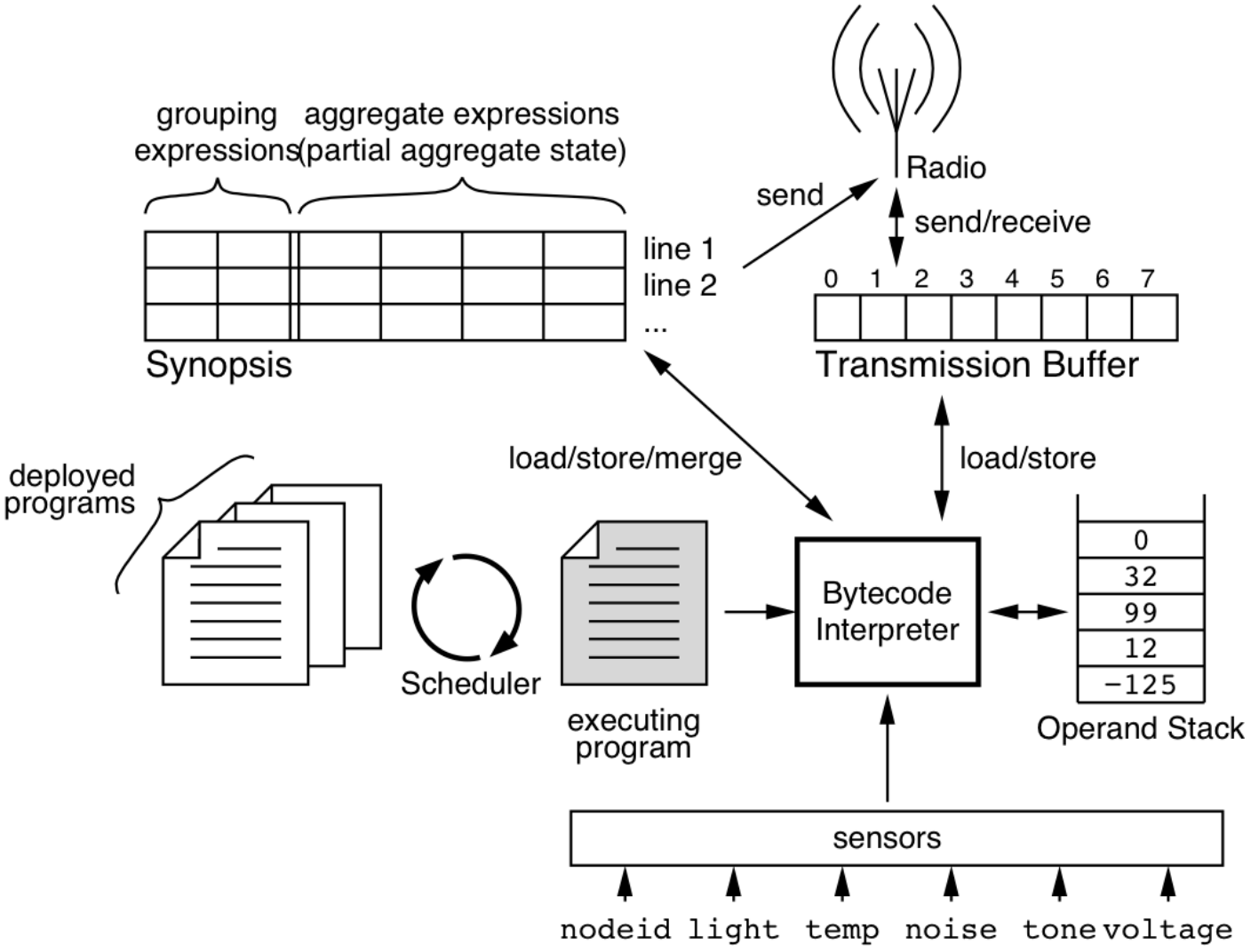


Gateway

- Daudz plašāka funkcionalitāte kā pierasts
  - multi-query optimization and merging
- Var “klausīt” dažādām vaicājumu valodām
  - SQL, XQuery, web services (t.sk. vienlaikus)
- Paplašināms
  - var realizēt dažādu papildus funkcionalitāti

- Ģenerē *byte-code,* ko izpildīt meglu VM

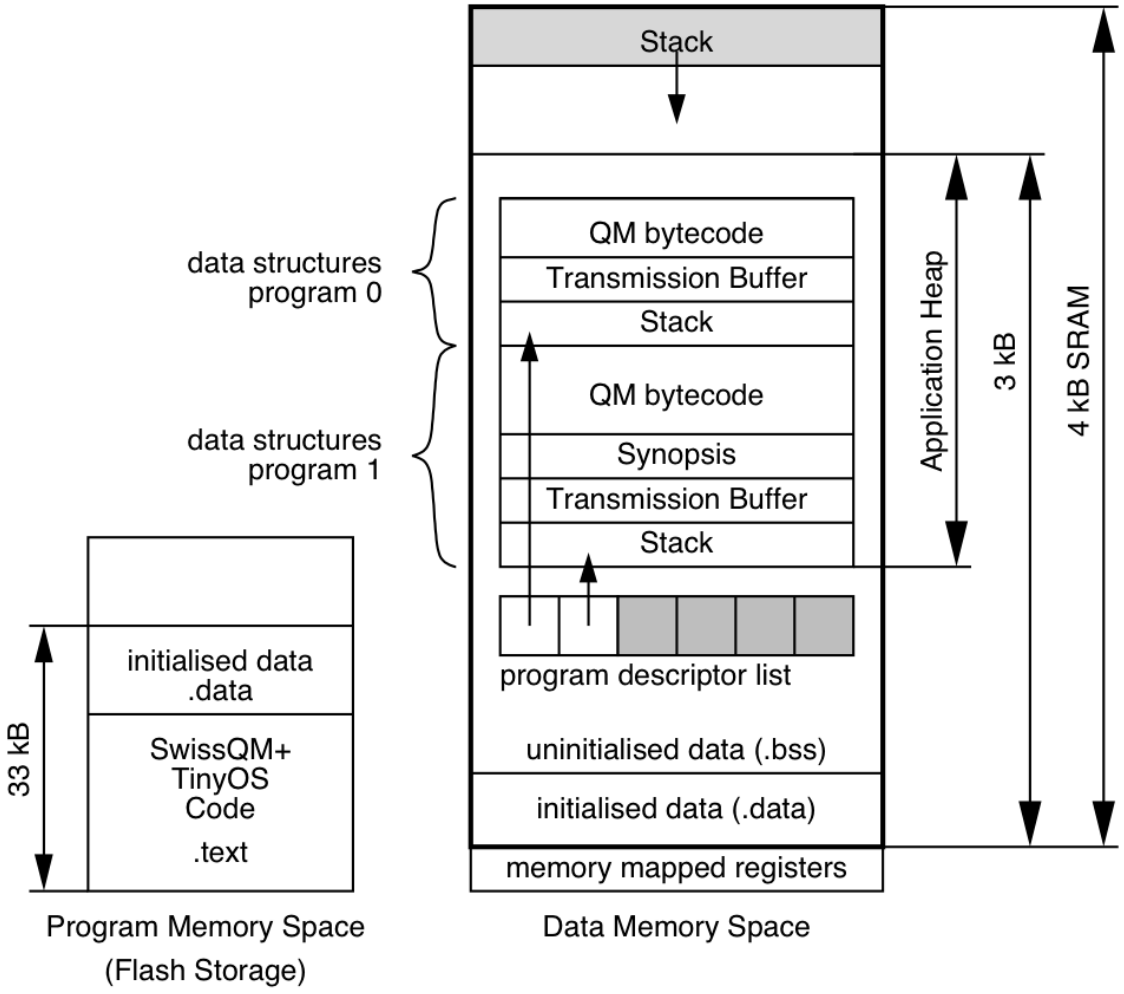
SwissQM arhitektūra



Katrai SwissQM aplikācijai

- Steks (operand stack, results): 16B
- Sūtījumu buferis (transmission buffer): 16B
- Kopsavilkuma buferis (synopsis): 16B
- Viens datu tips: 16bitu integer
- VM byte-kods, sadalīts 3 koda sekcijās:
  - Init
  - Delivery
  - Reception

SwissQM atmiņas izvietojums



SwissQM aplikāciju sekcijas

- **Init**: sākuma uzstādījumi
- **Delivery**: Sense & Send cikls, obligāts
- **Reception**: saņemto ziņu apstrāde (noklusētā izturēšanās – pārsūtīt tālāk)

SwissQM instrukciju kopa

- 59 instrukcijas, 1-3 baitus garas:
  - 37: Java VM analogi
    - Steka operācijas (DUP, SWAP, ...)
    - Artimētika (IADD, ...)
    - Programmas vadība (IF_ICMPLE, ...)
  - 22: darbs ar sensoriem, datu pārraidi un apstrādi:
    - Load / store data in transmission buffer, synopsis
    - Sensing
    - Transmission (SEND_TB, SEND_SY)
    - Aggregation (MERGE)
- Modulāra (var pielikt user-defined instrukcijas)

Sūtījumu buferis

- Ienākošā ziņojuma iegūšanai
- Izejošā ziņojuma būvei
- Pie katras sekcijas izpildes iztīrīts
- Nosūta tikai aizpildīto daļu
- Adresē pēc indeksa
- `istore <x>` un `iload <x>` instrukcijas

XQuery piemērs

Atgriezt NodeID motēm, kam temp > 60 :

```
for $n in xt:sample($sensors, 10s)//node
    where $n/temp gt 60
    return $n/nodeid
```

vaicājums XML “dokumentam” ar <node/> elementiem, kas satur <nodeid> un <temp>.

```
.section delivery, "@10s"
     get_temp          # read temperature sensor
     ipushb     60
     if_icmple  end    # skip if temp≤60
     get_nodeid        # read node's ID
     istore     0      # store it at pos. 0
     send_tb           # send transmission buffer
end:

.section reception
     send_tb           # forward tuple from child
```

izmērs: 10B, 1 ziņojums

Kopsavilkuma buferis

- Stāvokļa nodošanai starp izsaukumiem
- Agregācijai ar `merge` instrukciju
- Adresē pēc indeksa

- `istore_sy <x>` un `iload_sy <x>` instrukcijas

SwissQM agregācija

Aggregate	State	Initialiser	Merger	Finaliser
COUNT	c	$c = 1$	$c = c_1 + c_2$	$= c$
MAX	m	$m = expr$	$m = \max(m_1, m_2)$	$= m$
MIN	m	$m = expr$	$m = \min(m_1, m_2)$	$= m$
SUM	s	$s = expr$	$s = s_1 + s_2$	$= s$
AVG	(s, c)	$(expr, 1)$	$(s_1 + s_2, c_1 + c_2)$	$= \frac{s}{c}$
VARIANCE	(s, t, c)	$(expr, expr^2, 1)$	$(s_1 + s_2, t_1 + t_2, c_1 + c_2)$	$= \frac{t}{c} - \frac{s^2}{c^2}$

- Agregācijas funkciju definē stāvoklis un 3 funkcijas (kā TinyDB)
- Finaliser (evaluatoru) rēķina Gateway

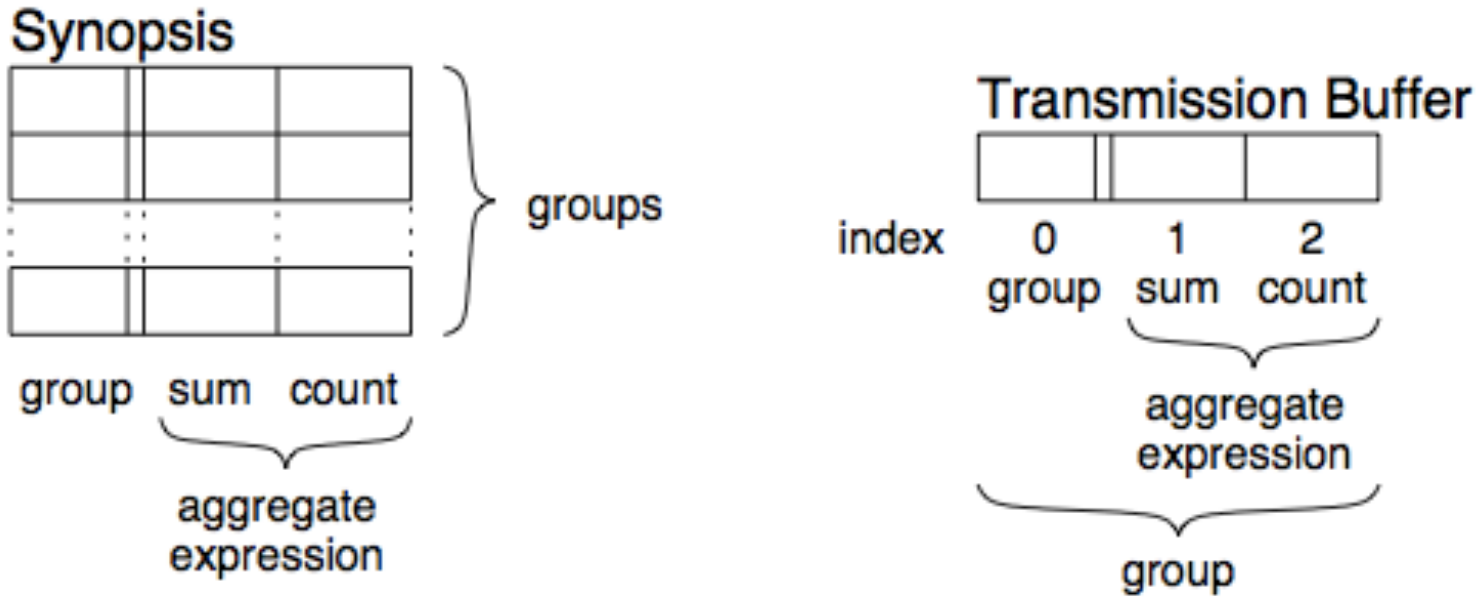
SwissQM merge instrukcija

- Operandi stekā norāda grupētāju un vērtību skaitu
- Datus (agregācijas stāvokli) ņem no kopsavilkuma bufera
  - piem., AVG stāvoklis = <summa, skaits>

merge(n, m, aggop_1, ..., aggop_m) operandi:

- n = grupēšanas izteiksmju skaits
- m = agregācijas izteiksmju skaits
- aggop_1..m = agregācijas operāciju ID

merge datu struktūras (piemērs)

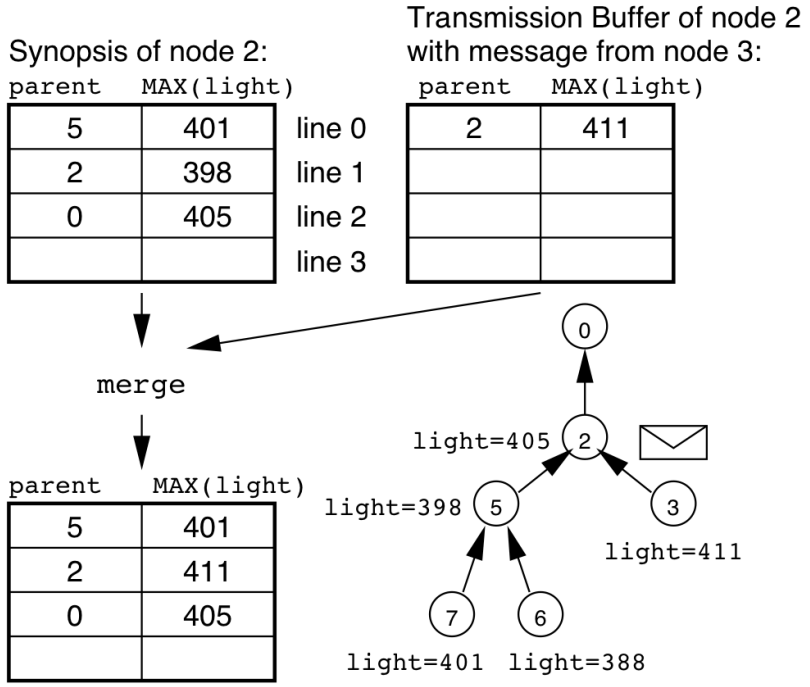


Agregācijas piemērs (1)

SELECT parent, MAX(light)
  FROM sensors
  GROUP BY parent
  SAMPLE PERIOD 10s

(TinyDB SQL sintakse)

MAX(light) vērtība starp mezgliem kam ir tas pats vecāks



Agregācijas piemērs (2)

Atrast vidējo temperatūras vērtību nodēm, kam ir līdzīgi gaismas sensora rādījumi:

SELECT (light-512) / 10, AVG(temp)
    FROM sensors GROUP BY (light-512) / 10
    SAMPLE PERIOD 30s

vaicājums satur uz motēm izpildāmus aprēķinus
- TinyDB ir ļoti minimālas iespējas to veikt

```
.section delivery, "@30s"
   get_light
   ipushw       512
   isub
   ipushb       10
   idiv
   istore       0       # store group expression
   get_temp
   istore       1       # sum := temp
   iconst_1
   istore       2       # count := 1
   ipushb       5       # agg: AVG = 5
   iconst_1             # number of agg expr: 1
   iconst_1             # number of grp expr: 1
   merge
   send_sy

.section reception
   ipushb       5       # agg: AVG = 5
   iconst_1             # number of agg expr: 1
   iconst_1             # number of grp expr: 1
   merge
```

27 bytes
2 messages

Ziņojumu maršrutizācija

- Tiek uzturēts mezglu koks
- Kopīgs duty cycle – bērni sūta pirms vecāku mezgla

Ko darīt, ja *synopsis* dati izaug pārāk lieli?

Ziņojumu maršrutizācija

- Tiek uzturēts mezglu koks
- Kopīgs duty cycle – bērni sūta pirms vecāku mezgla

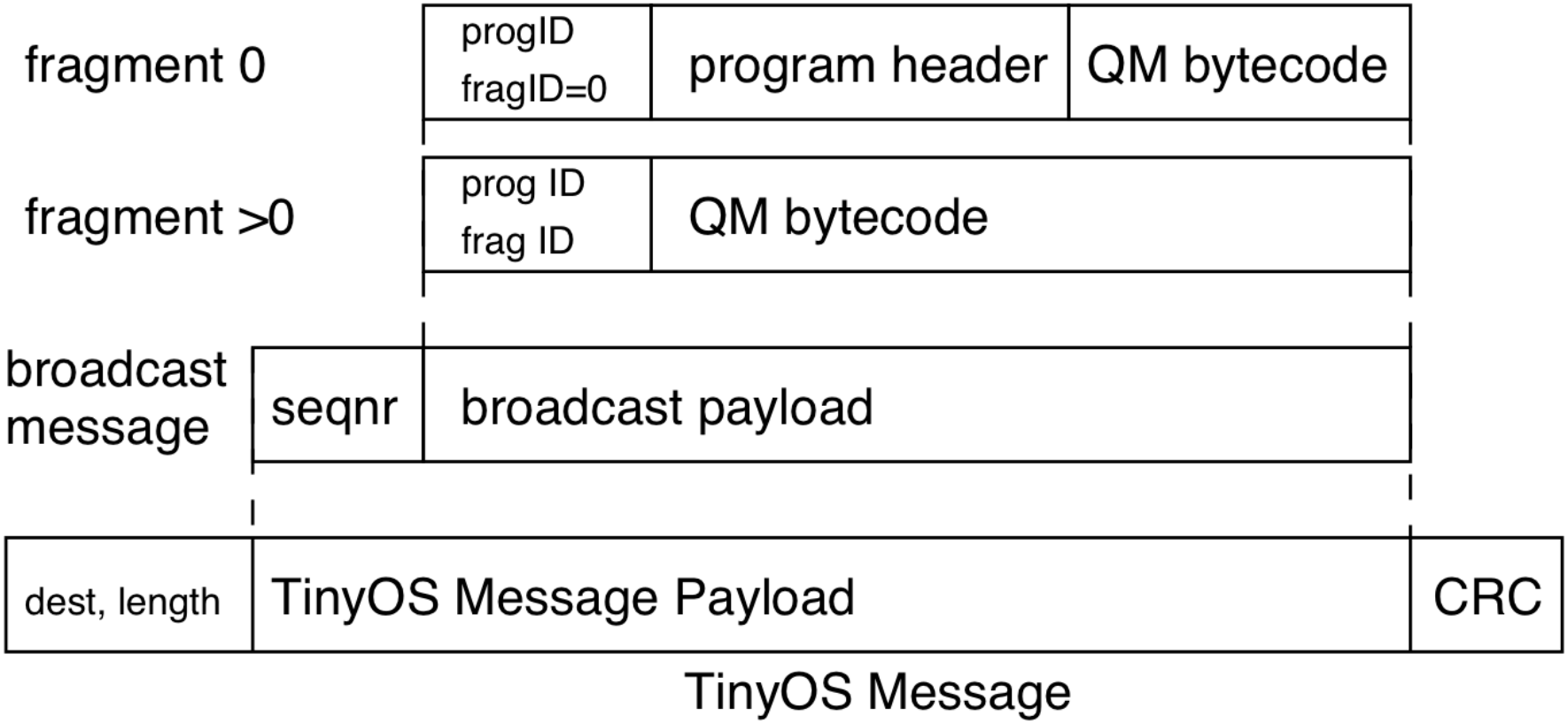
Ko darīt, ja *synopsis* dati izaug pārāk lieli?

- merge operācija pārtrauc agregāciju un forwardē visus saņemtos *synopsis* tālāk
- pārējo agregāciju veiks *gateway*

Pārprogrammēšana

- Gateway izsūta ziņas ar aplikācijas galveni un fragmentiem
- Tīklā tās izpludina, pārsūtot
- Ja kāds fragments iztrūkst, pārprasa vecāka mezglam

Pārprogrammēšanas ziņojumi



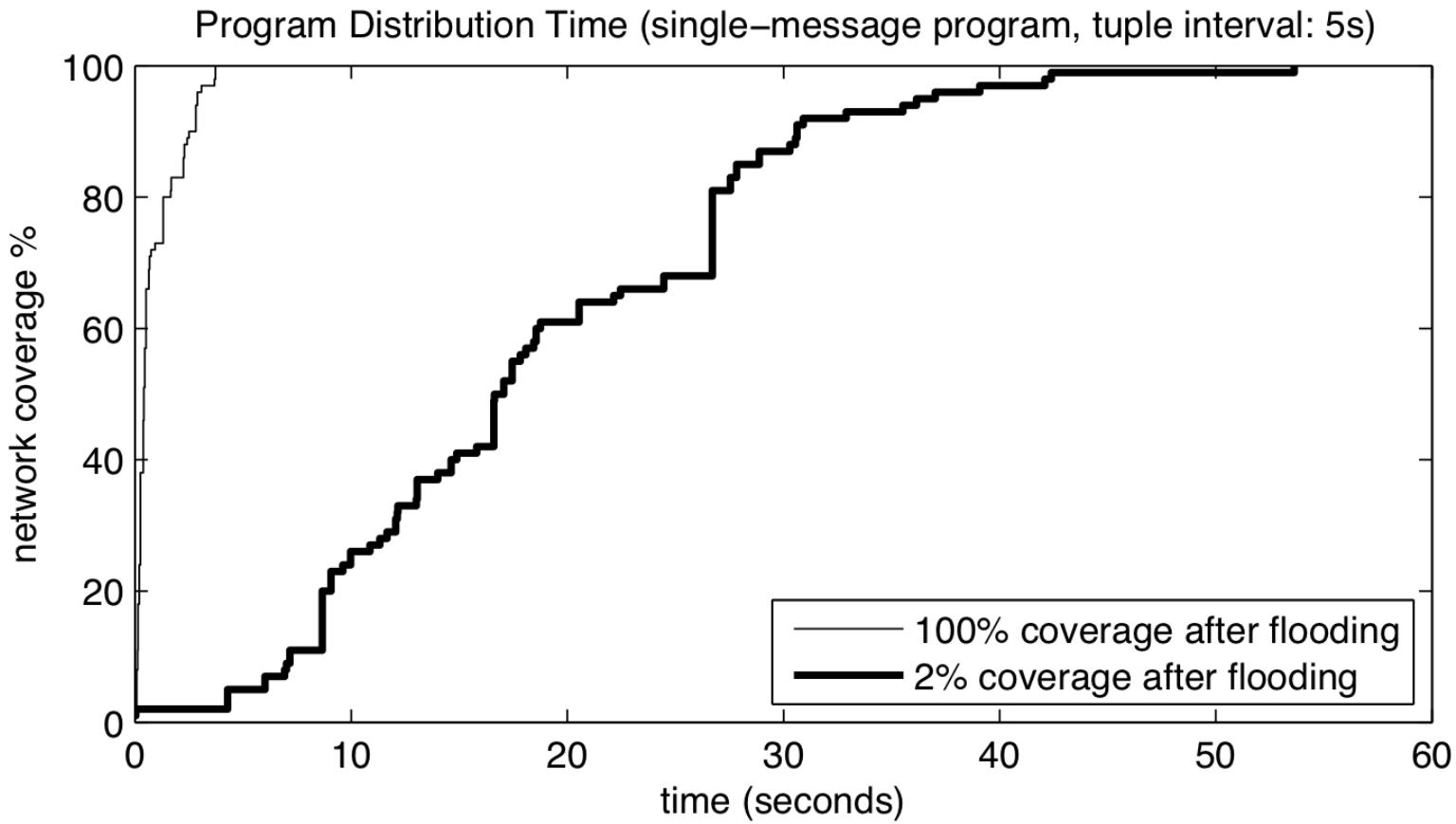
Program header

Programmas metadati (10 baiti):

- [programmas ID, fragmenta ID]
- init, delivery, reception sekciju garumi
- sampling period
- programmas “karodziņi” (flags):
  - vai tiek lietots kopsavilkums (*synopsis*)
  - synopsis dzēšanas režīms (manual vs epoch)
  - …
- laiks, kad 1. reizi palaist delivery sekciju

Pārprogrammēšanas ātrums

Simulācija: 10x10 mezgli



SwissQM un TinyDB izmēri

Query	TinyDB		SwissQM	
	msgs	bytes	msgs	bytes
`SELECT nodeid,light,temp FROM sensors`	3	168	1	20
`SELECT nodeid,light FROM sensors WHERE temp<512 AND nodeid>50`	5	280	2	30
`SELECT MAX(light) FROM sensors`	2	112	1	22
`SELECT parent,MAX(light) FROM sensors GROUP BY parent`	3	168	1	25

SwissQM kopsavilkums

- Mazāks kods par Mate
- Vienkāršāk programmējams kā Mate
- Plašākas iespējas par TinyDB
  - Dažāda veida interfeisi (XQuery, SQL, ...)
  - Multi-user, multi-programming
- Adaptējama / pielāgojama sistēma

BST VM turpina dzīvot

A Virtual Machine
for
Wireless Sensor Networks

Pedro Emanuel Rodrigues Gomes

Departamento de Ciência de Computadores
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2009

9. Eseja

Kādu labumu Jūsu kursa projektam varētu sniegt virtuālās mašīnas izmantošana?

Termiņš: 12.12.2011. 10:00

Praktiskie darbi

- http://viesentis6.eventbrite.com/
  - VIESENTIS projekta noslēguma seminārs
  - iespēja izpildīt PD2
  - termiņš (PD iesniegšanai) – 19.12.2012

- Par enerģijas ieguvi no vides
  - PD5 praktiskais darbs (neobligāts)
  - 15 min uzstāšanās – 19.12.2012
  - var nopelnīt papildus punktus