

Bezvadu Sensoru Tīkli

Laika sinhronizācija BST

Reinholds Zviedris

Datorikas fakultāte

Latvijas Universitāte

19.10.2016.

Kur dzīvo 4MHz?



Kvarcs rezonē
noteiktā frekvencē



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Quartz_Br%C3%A9sil.jpg



http://uk.farnell.com/images/en/ede/texas_msp430.jpg

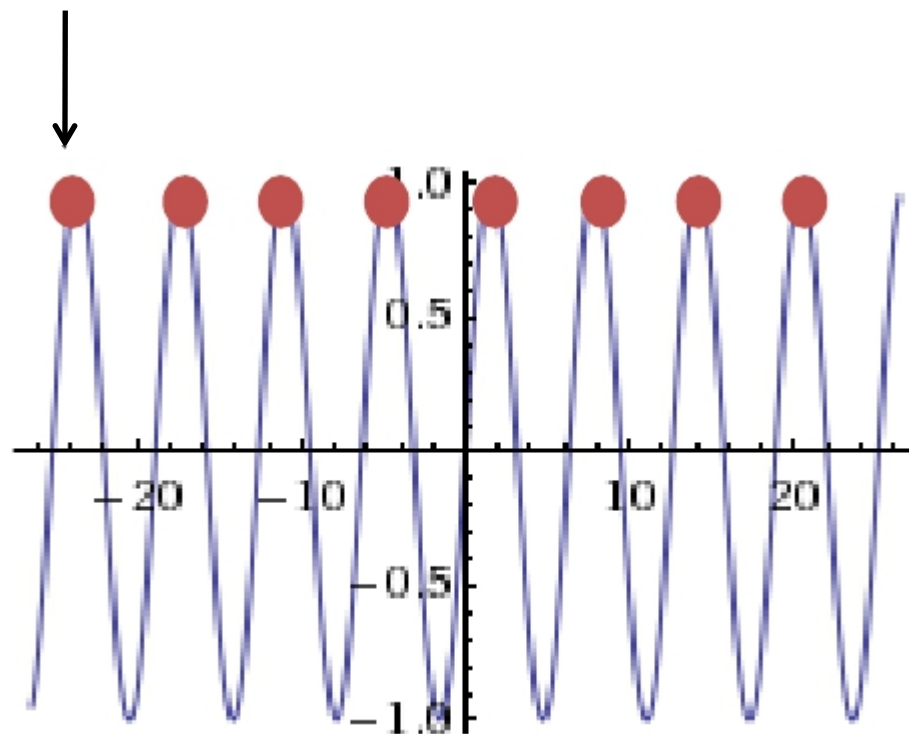


<http://rocky.digikey.com/weblib/CTS/Web%20photos/MXO45HS.jpg>

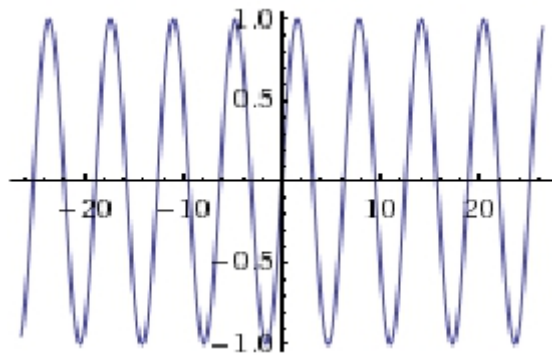
Oscilācijas

4'000'000 impulsi sekundē = 4MHz

Impulsi

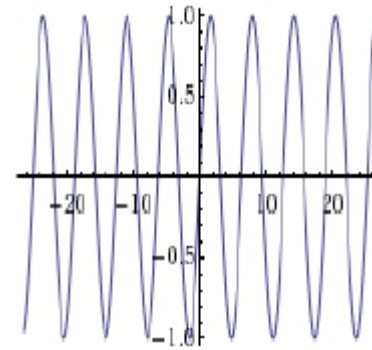


Apkārtējās vides ietekme

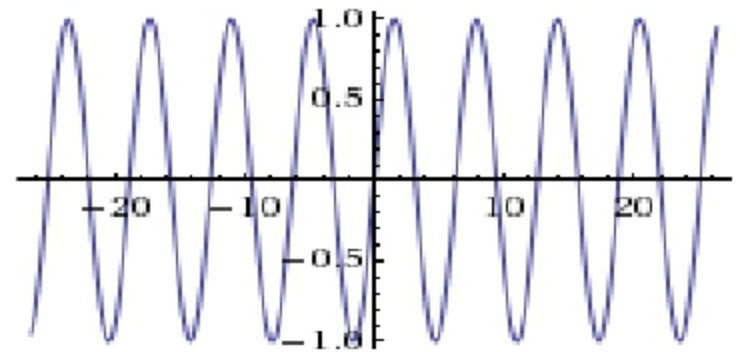


+ t^0 =

a)



b)



Piemērs

- MicaZ mote
- 7.37 MHz
- Dreifs: $40\mu\text{s/s}$



$$40\mu\text{s}/\text{s} = 3.5\text{s}/\text{dienā!}$$

Visi vēlas vienādus pulksteņus

Ko darīt?



KVARZ

ACTIVE HYDROGEN MASER CH1-75A

MADE IN
RUSSIA

ON

AC PWR

DC PWR

ON

1 AVAIL

2 AVAIL

REM

T

SRQ

L

18.45.21

ERROR

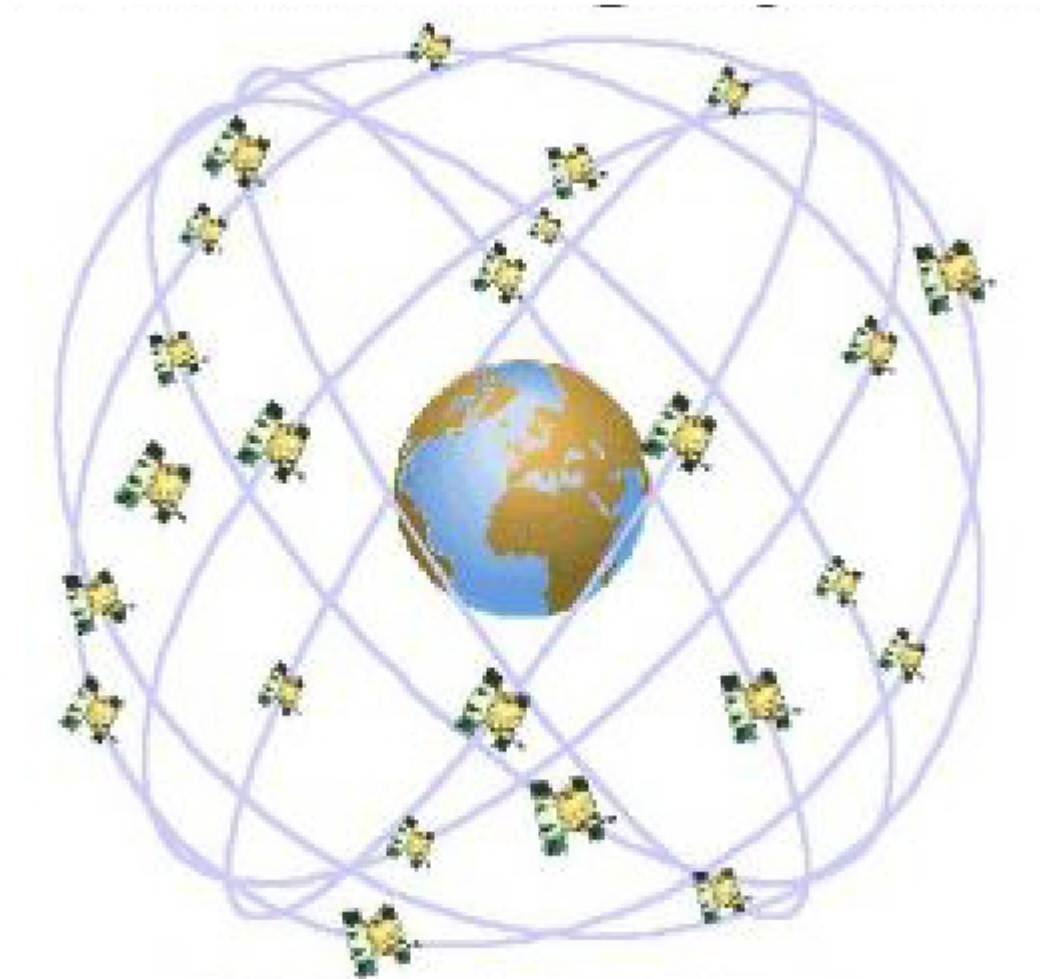
MASER

ACFC

SYNCH. UNIT

Globālā Pozicionēšanas Sistēma

- Satelīti ar precīzu pulksteni riņķo ap Zemi, nosūta savu laiku



GPS ir dārgs

Table 2: Collar energy consumption

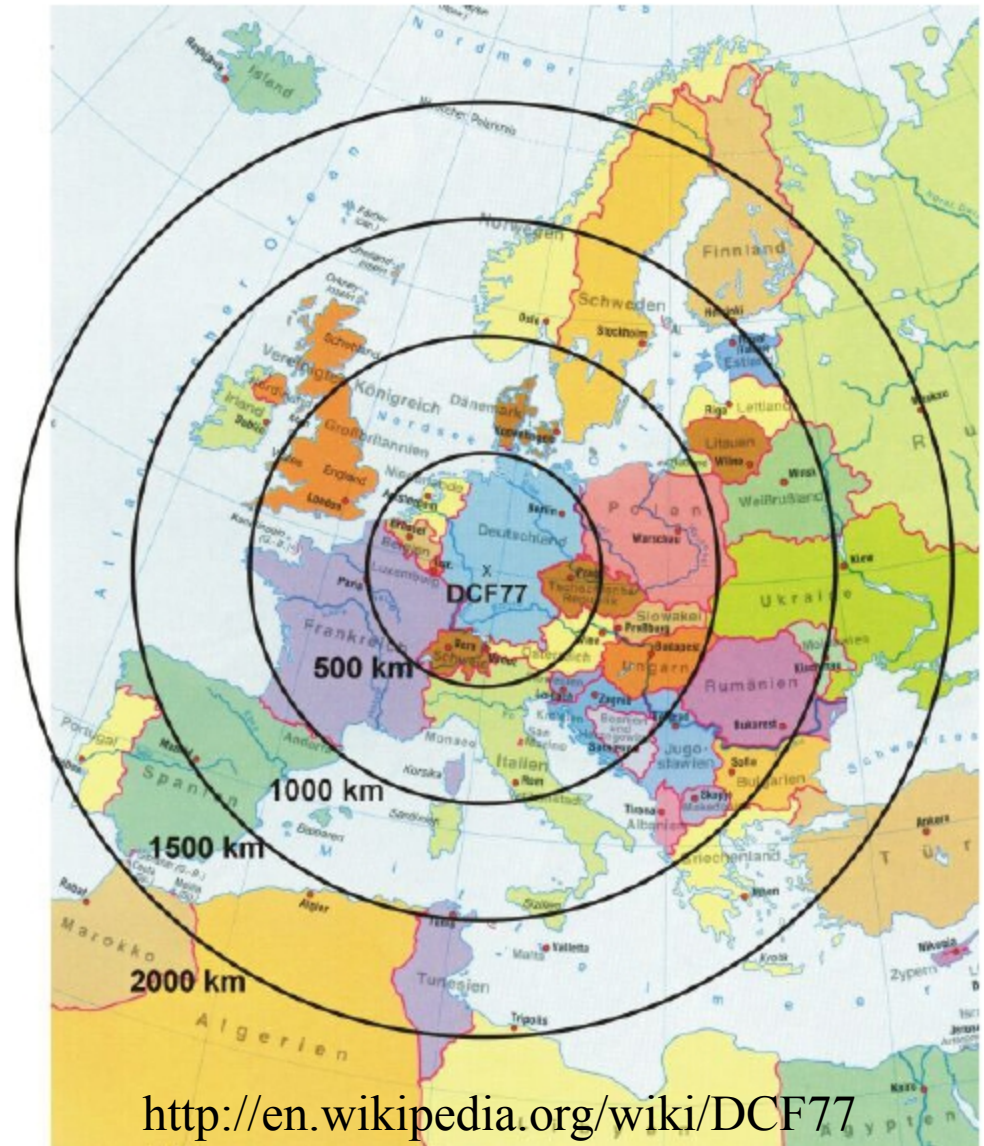
Mode	Active		mW
	sec/hour	mW	daily
Sleep	3527.123	0.033	0.78
GPS	60.0	218.79	87.52
Sensors	12.0	37.62	3.01
Radio RX	0.246	31.68	0.05
Radio TX	0.631	52.14	0.22
Total:			91.57

R. Zviedris, A. Elsts, G. Strazdins, A. Mednis, and L. Selavo, “Lynxnet: Wild animal monitoring using sensor networks,” in REALWSN 2010, LNCS 6511, pp. 182--185. Springer, Heidelberg (2010)

DCF77

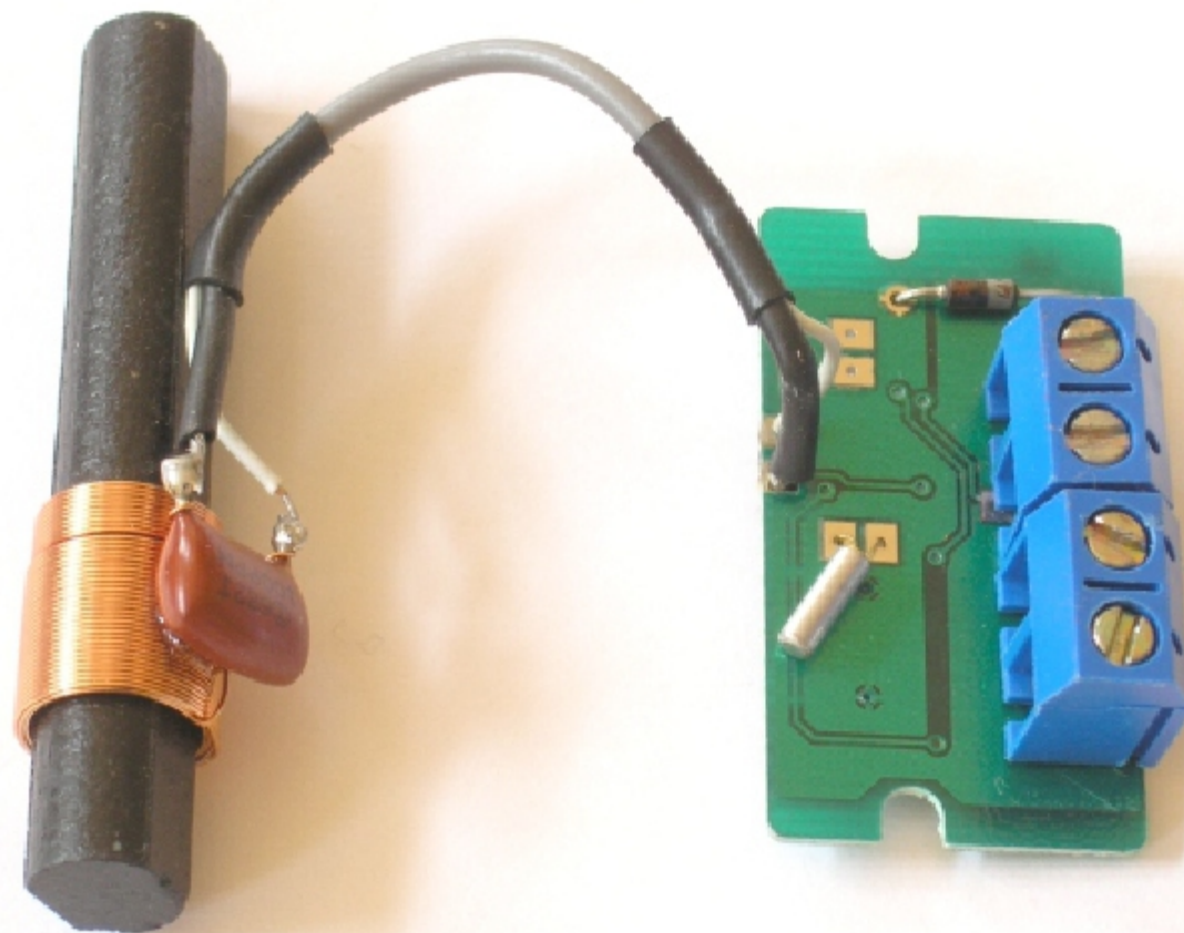
D = Deutschland, C = long waves, F = Frankfurt, 77 = 77.5 KHz

- Bāzes stacija
Vācijā raida savu
laiku 2000km
attālumā
- Šādas stacijas
pasaulē ir vairākas



<http://en.wikipedia.org/wiki/DCF77>

DCF77 vajadzīga sava antena



Vai var bez papildus aprīkojuma?



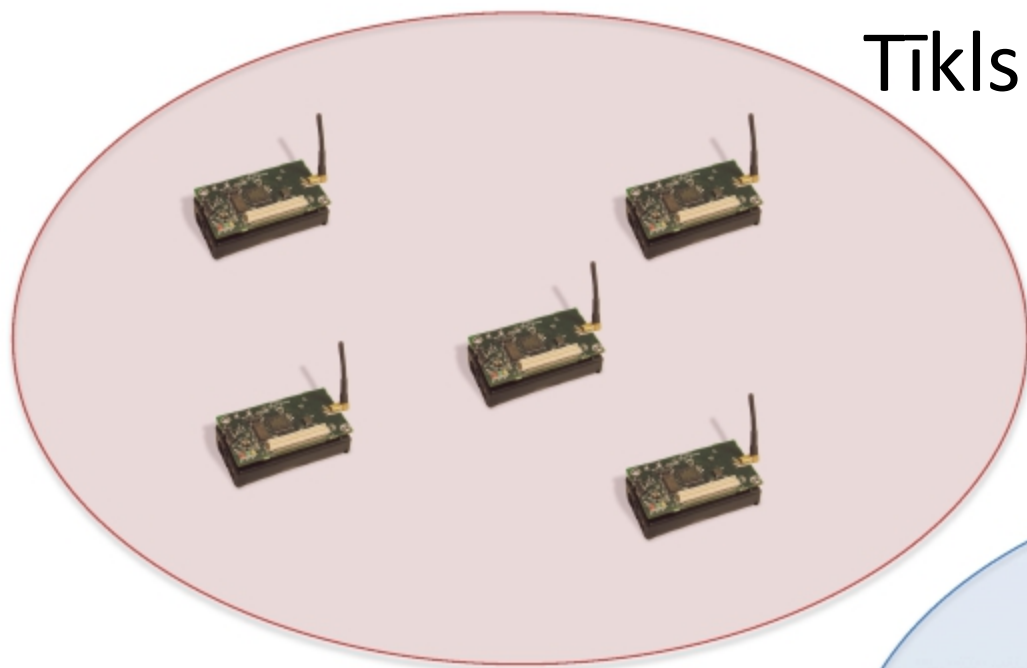
Kāpēc vajag sinhronus pulksteņus?

Kāpēc vajag sinhronus pulksteņus?

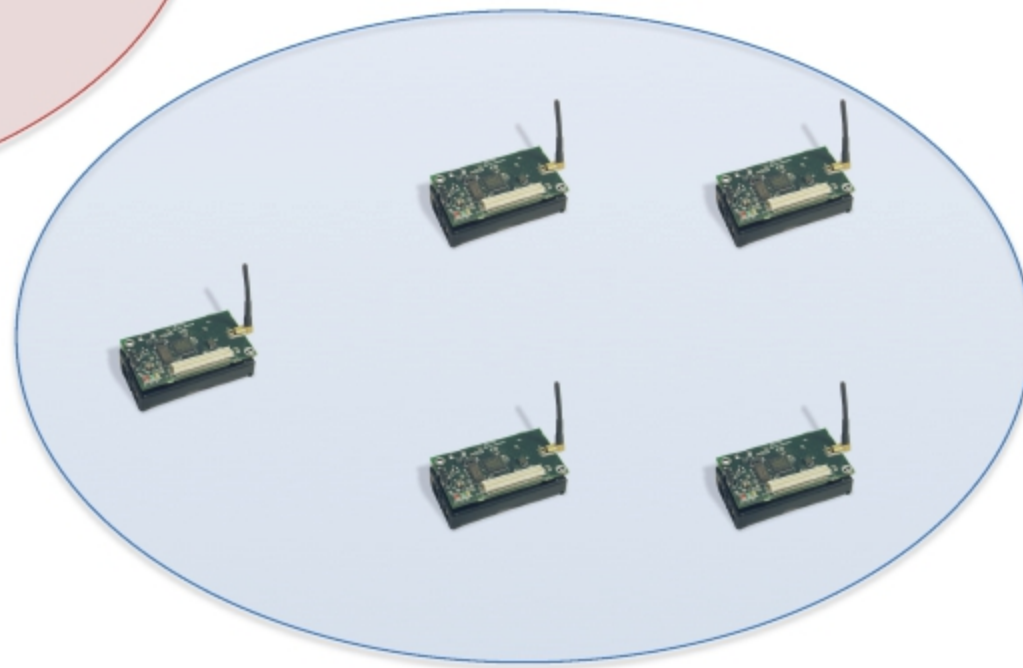
- Datu apstrādei – izrēķināt vidējās vērtības, atvasinājumus
- Datu interpretācijai – kad dati savākti; vai vērtības X1 un X2 apraksta vienu notikumu utt.
- TDMA MAC protokoliem, maršrutizācijai
- Kopīgam *Duty Cycling*

Ar lokālu sinhronizāciju pietiek

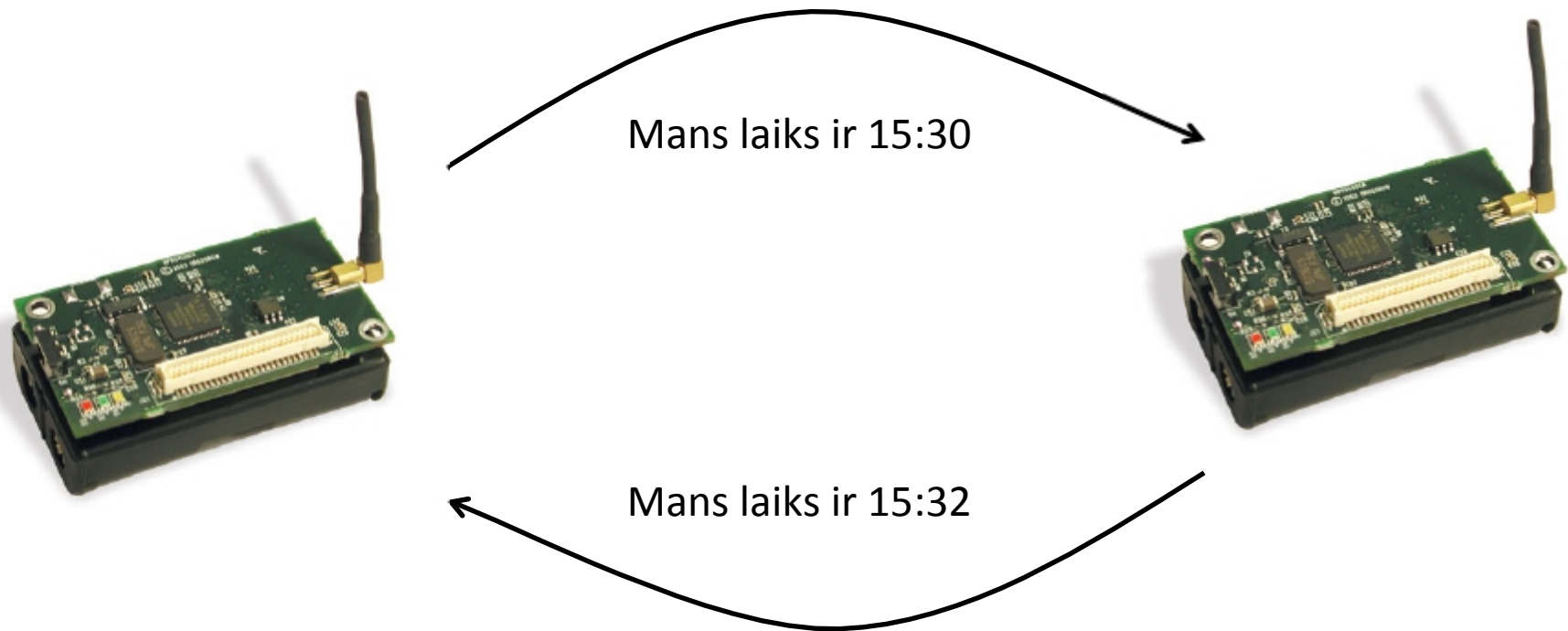
Tīkls 1, 15:30



Tīkls 2, 16:20

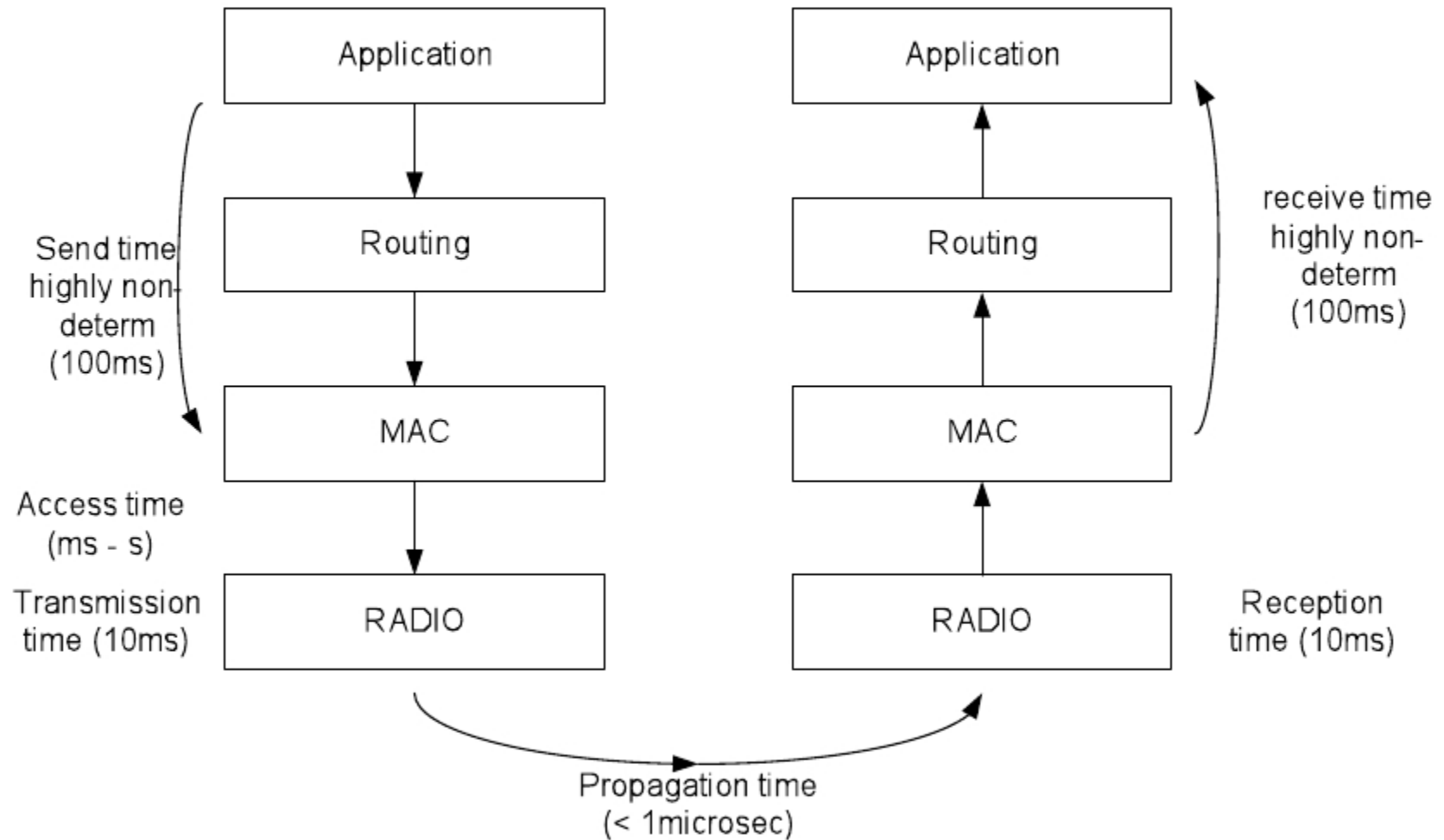


Galvenā ideja



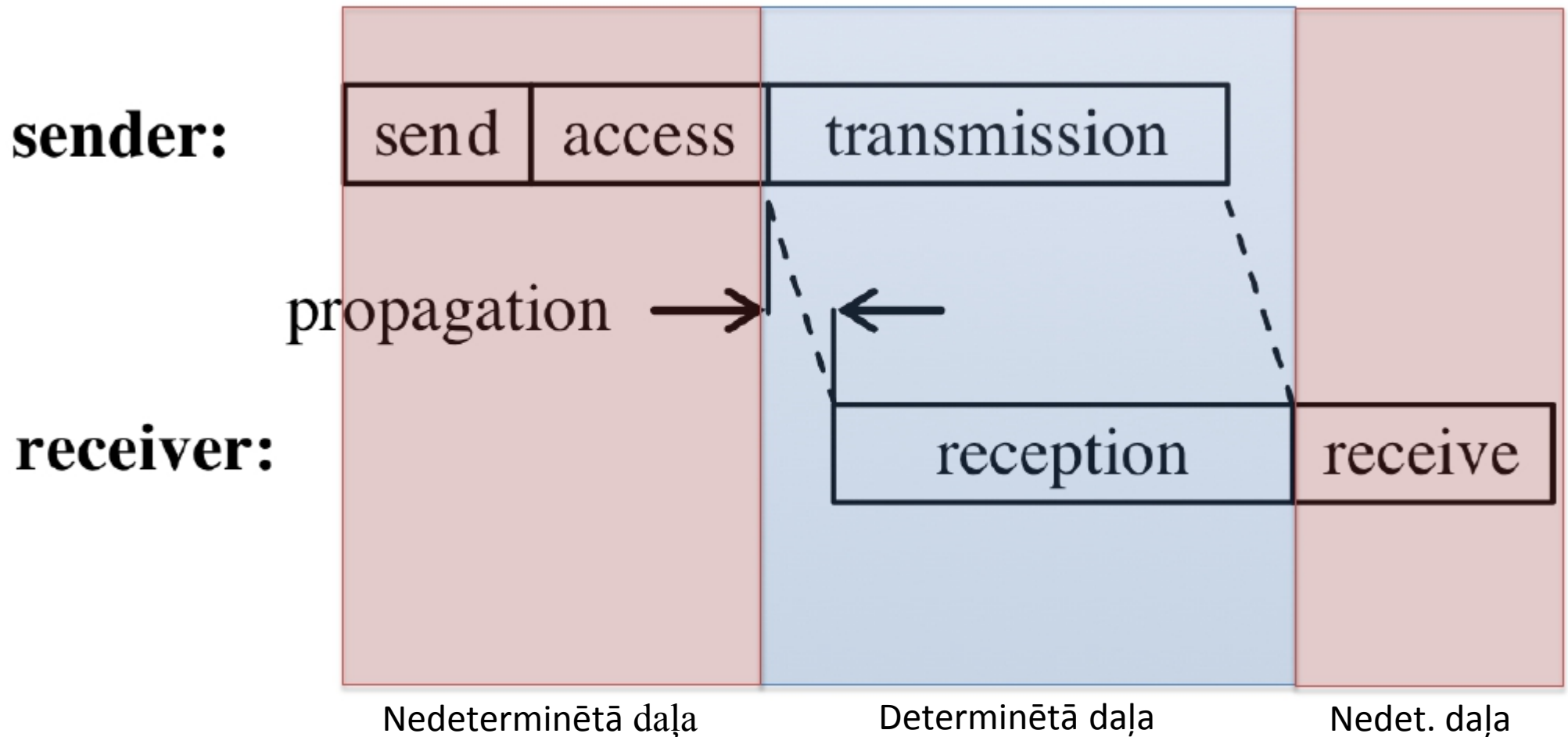
Sinhronizētais laiks = $F(T1, T2)$

Kur rodas aiztures?



Kas ir slikts aizturēs?

Nedeterminētās aiztures = slikti



Prasības ideālai sinhronizācijai

- Augsta precizitāte
- Zems enerģijas patēriņš
- Minimāla tīkla noslodze
- Dažādu topoloģiju atbalsts
- Pielāgošanās tīkla izmaiņām
- Īss stabilizācijas laiks
- Vienkārša implementācija
- Mazs koda izmērs
- Zemas veikspējas prasības

Tipiski PS protokolu piemēri

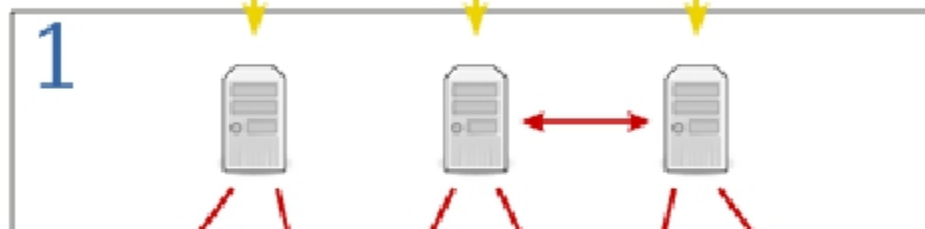
- NTP – nav īsti piemērots BST
- RBS
- TPSN
- FTSP
- PPS

NTP

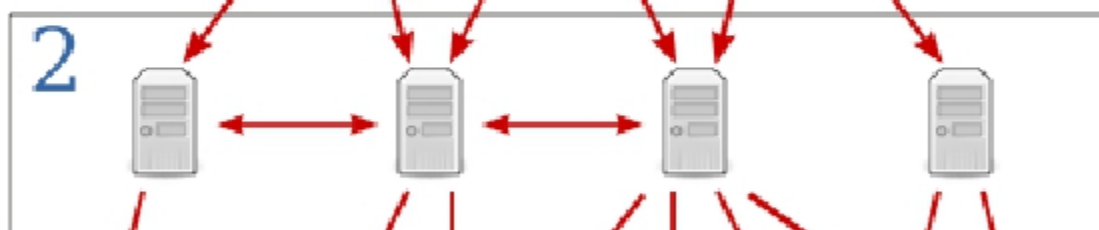
Ultra precīzi pulksteņi



Tiešs savienojums



Internet savienojums



Internet savienojums



NTP nav piemērots BST

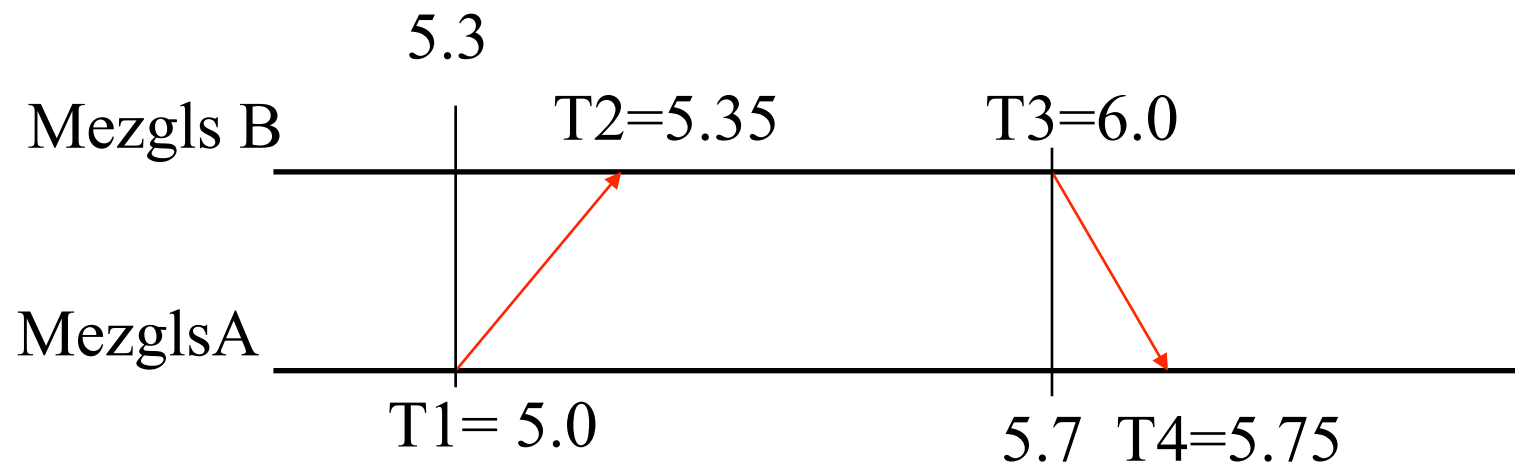
- Nedeterminētība MAC un tīkla līmenī (>100ms uz katru lēcianu)
- Sarežģīta realizācija
- Liels koda izmērs
- Netaupa enerģiju

RBS, 2002.g.

Reference Broadcast Synchronization

- Viens mezgls izsūta “svilpienu”
- Pārējie nomēra lokālo laiku svilpiena brīdī un apmainās ar šo informāciju ar kaimiņiem

Pāru sinhronizācijas piemērs



$$P = ((T2 - T1) + (T4 - T3)) / 2$$

$$P = ((5.35 - 5.0) + (5.75 - 6.0)) / 2$$

$$P = ((.35) + (-.25)) / 2$$

$$P = .05$$

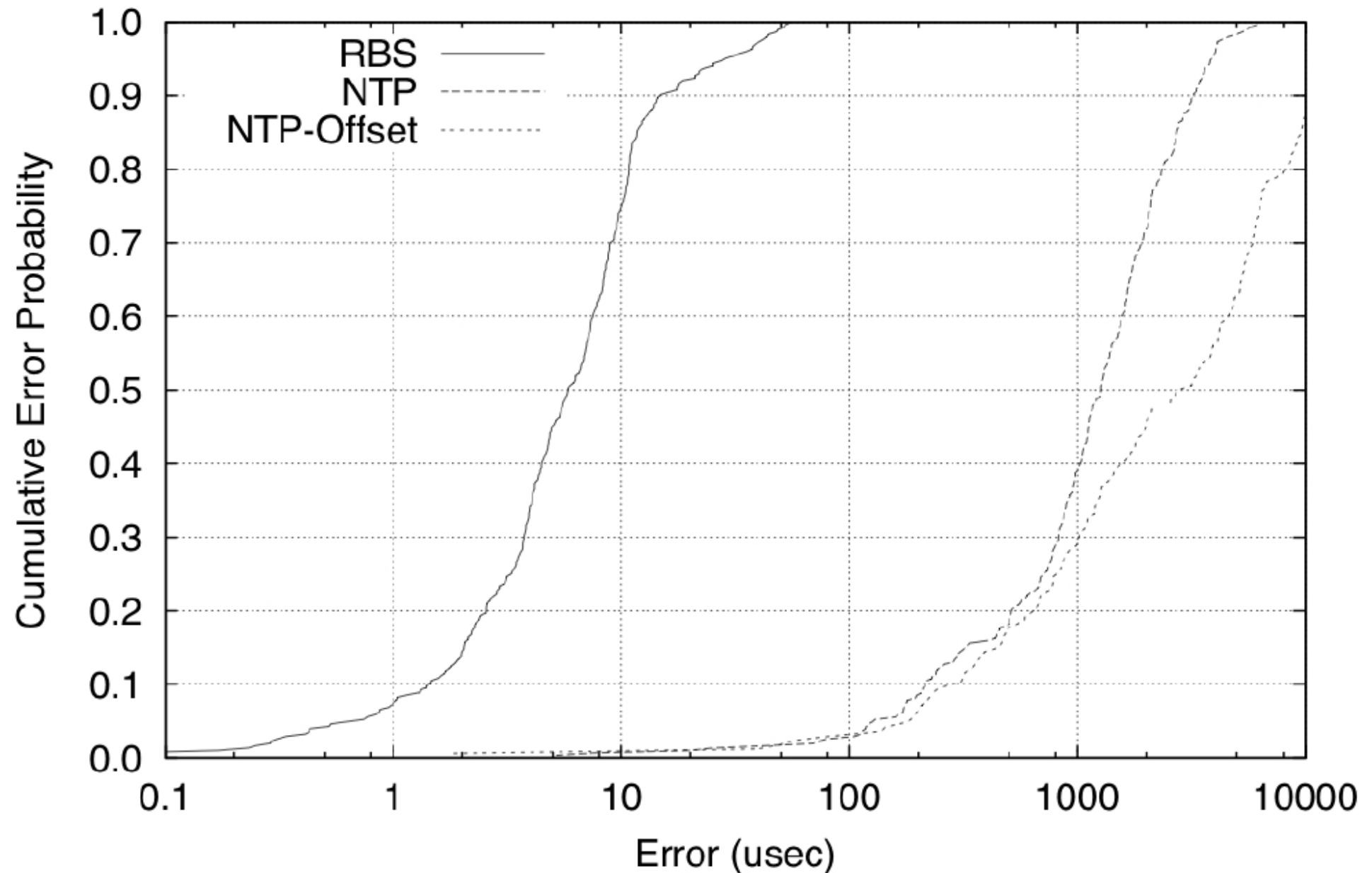
$$\Delta = T2 - T1 - P$$

$$\Delta = .35 - .05$$

$$\Delta = .3$$

A pieskaita .3 pie 5.75, iegūst laiku 6.05

Synchronization Error with Heavy Network Load



J. Elson, L. Girod, and D. Estrin, "Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts,"
ACM SIGOPS Operating Systems Review, vol. 36, no. SI, pp. 147–163, 2002.

RBS priekšrocības un trūkumi

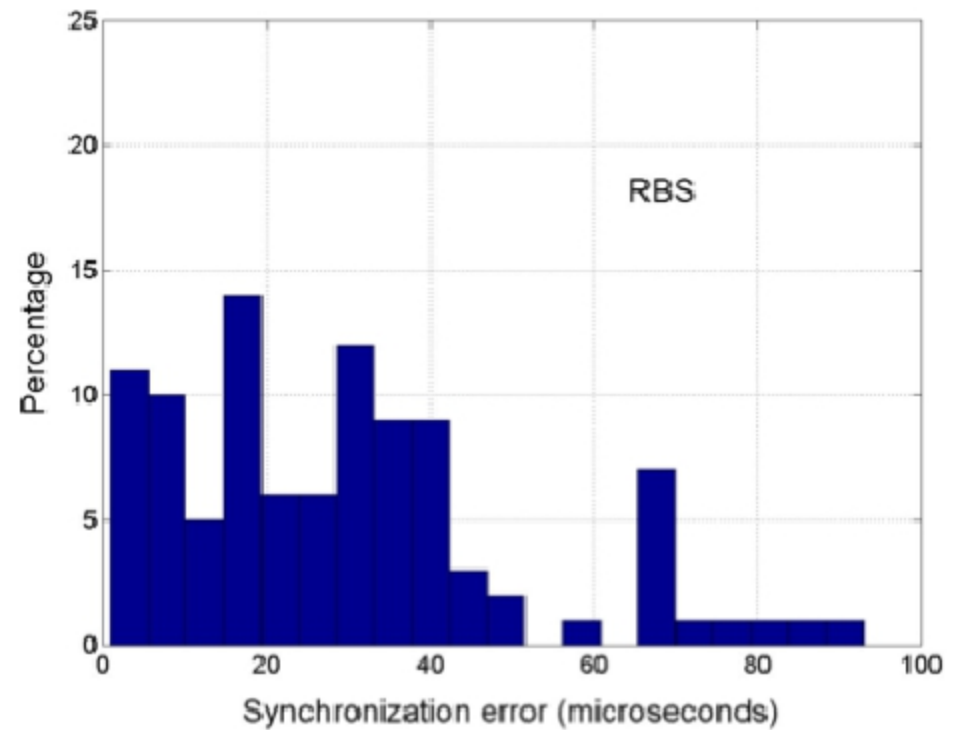
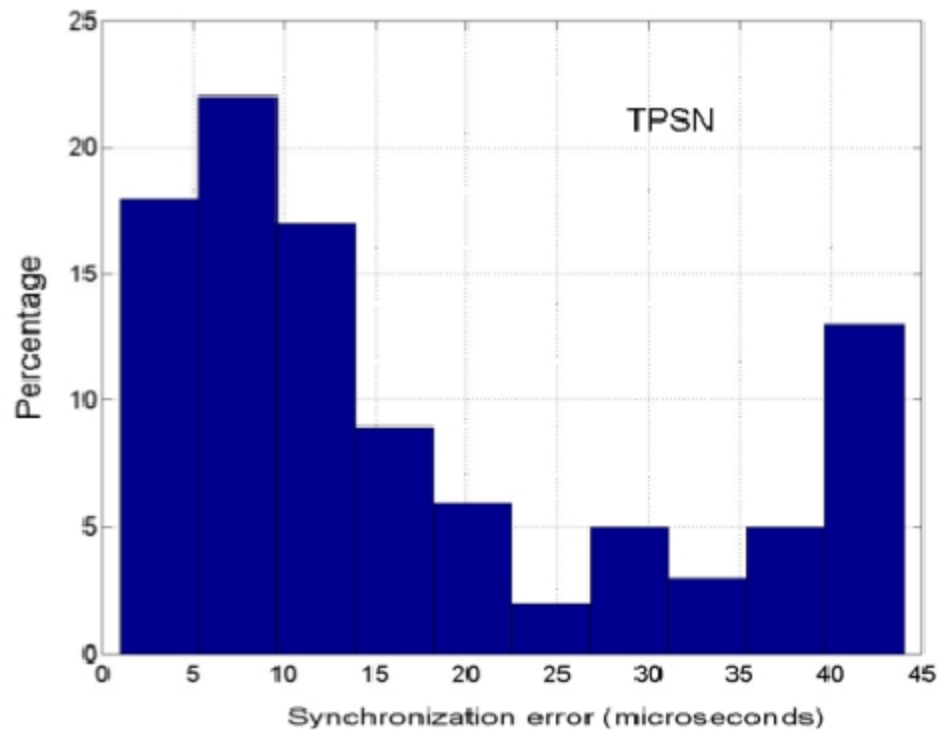
- + Nav sūtītāja nedeterminētības
- + Minimāla tīkla noslodze
- Darbojas tikai 1-lēciena tīklos
- Visiem jādzird svilpiens

TPSN, 2003.g.

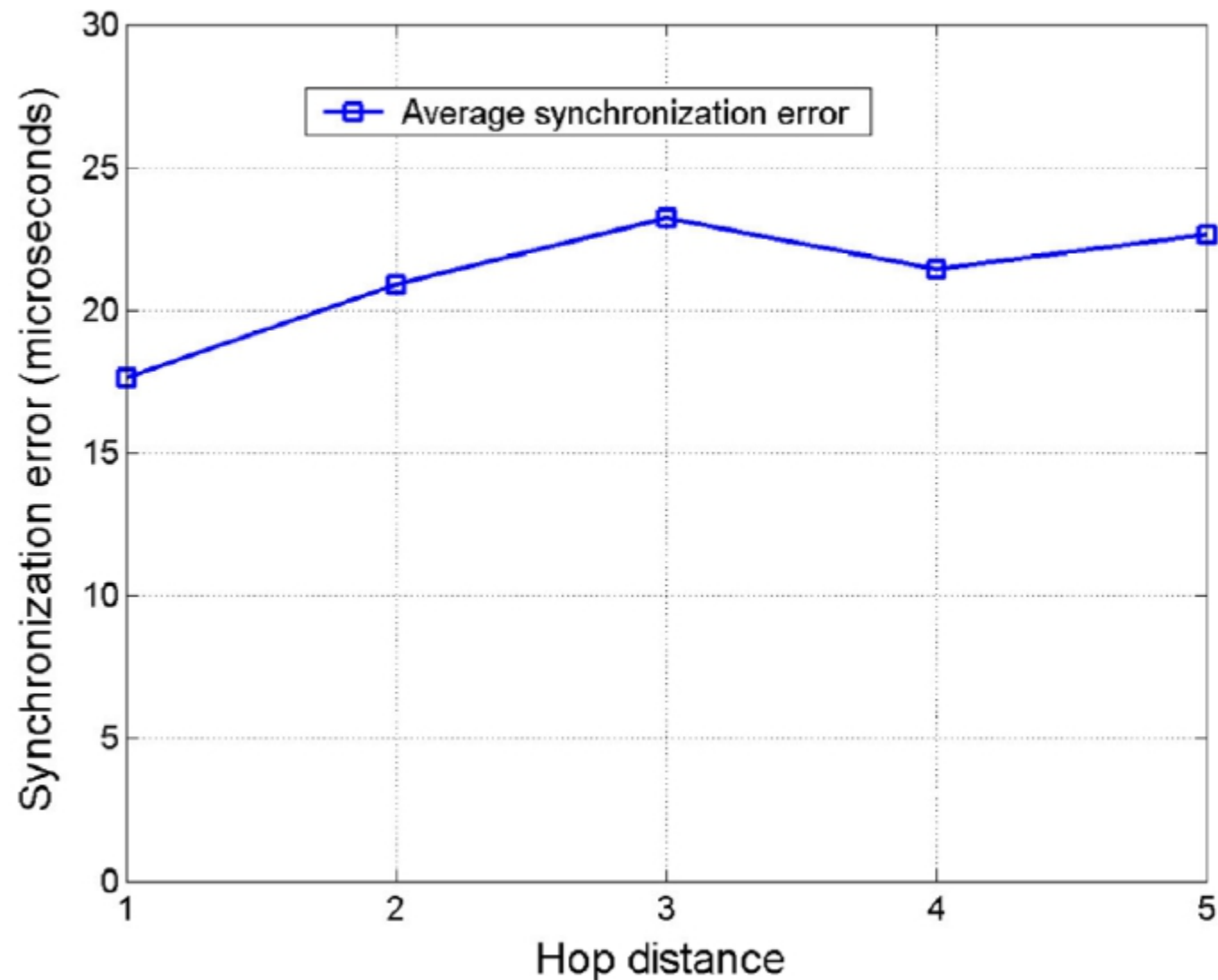
Time-sync Protocol for Sensor Networks

- Izveido pārklājošo koku (spanning tree)
- Sinhronizē katru šķautni
 - ar zemāka koka līmeņa virsotnēm
- Laiku lasa MAC līmenī
- Divpusēja ziņapmaiņa

TPSN precīzāks par RBS



TPSN precizitāte



TPSN priekšrocības un trūkumi

- + Vairāk nekā 2x precīzāks par RBS
- + Darbojas visā tīklā
- Neatbalsta topoloģijas izmaiņas
- Vairāk nosūtīto ziņojumu

FTSP, 2004.g.

The Flooding Time Synchronization Protocol

- Ap $1\mu\text{s}$ precizitāte
- Ievēl saknes mezglu ar “zelta pulksteni”
- Pārējie pielāgojas saknei
- Ad-Hoc tīkls, nevis pārklājošais koks
- Laiku fiksē “zem” MAC līmeņa, vairākkārt
- (Gandrīz) apiet nedeterminētos posmus

Apiet nedeterminētību

- “Send”: fiksēt sūtīšanas laiku MAC līmenī
- “Access”: fiksēt laiku, kad radio piekļuvis kanālam
- “Receive”: fiksēt saņemšanas laiku MAC līmenī

Paliek determinētas aiztures*

- Sūtīšana
- Signāla izplatīšanās
- Saņemšana

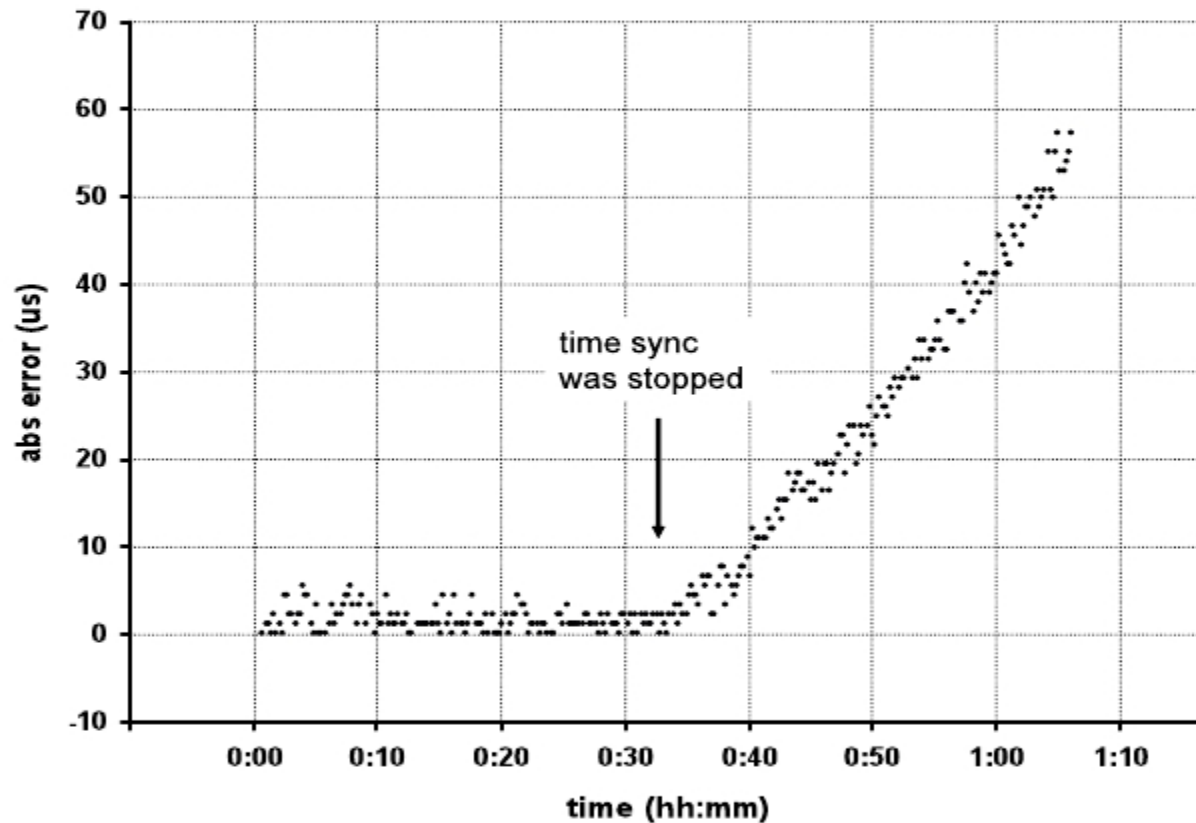
} = $F(l, s, d)$,
l – pakas izmērs
s – pārraides ātrums
d – attālums starp mezgliem

* - gandrīz

Pulksteņu dreifa ietekme

- Jāsinhronizē atkārtoti
- Ik sekundi sinhronizēt nav iespējams
- Mēģinām paredzēt dreifu pēc statistikas

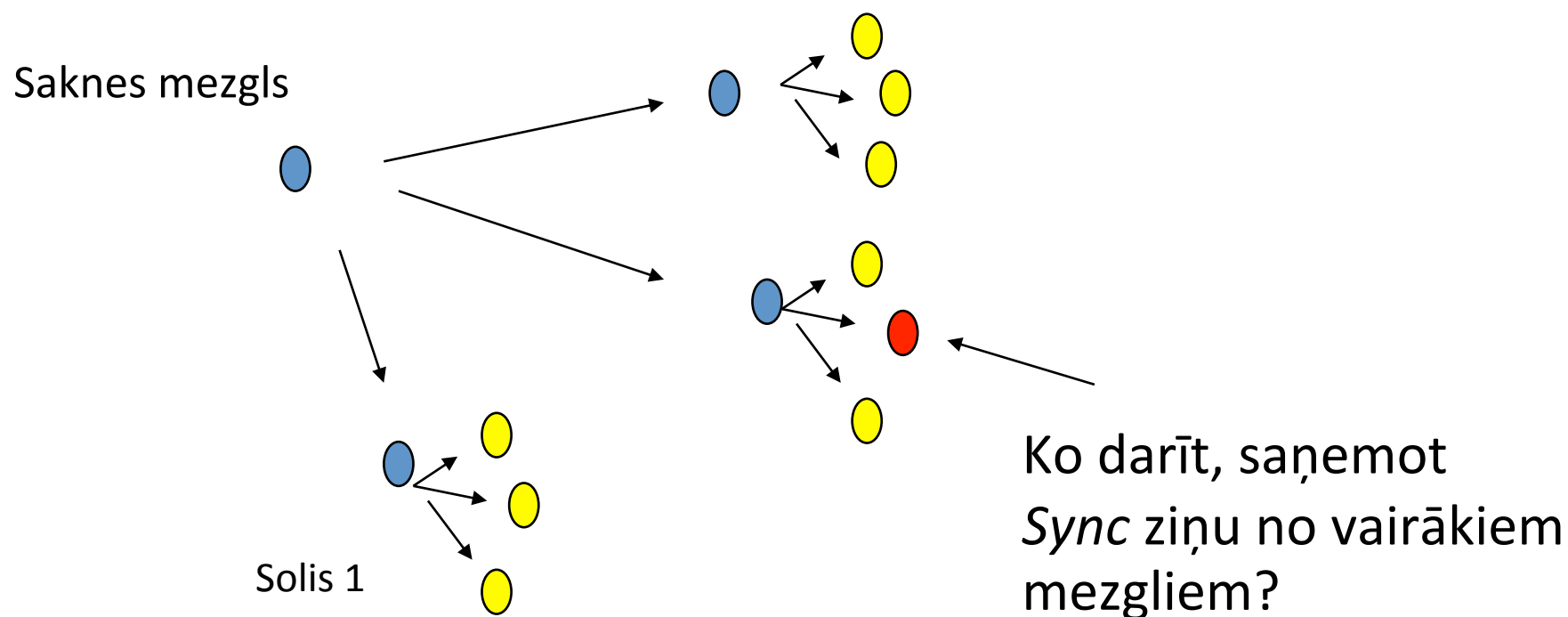
Dreifa ierobežošana



Ja pietiek ar precizitāti 10us, var sinhronizēt ik 7 minūtes

M.Maroti et al. The Flooding Time Synchronization Protocol.
Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, ACM, 2004.

Daudz-lēcienu pludināšana



Solis 2

8 *Sync* ziņas lineārās

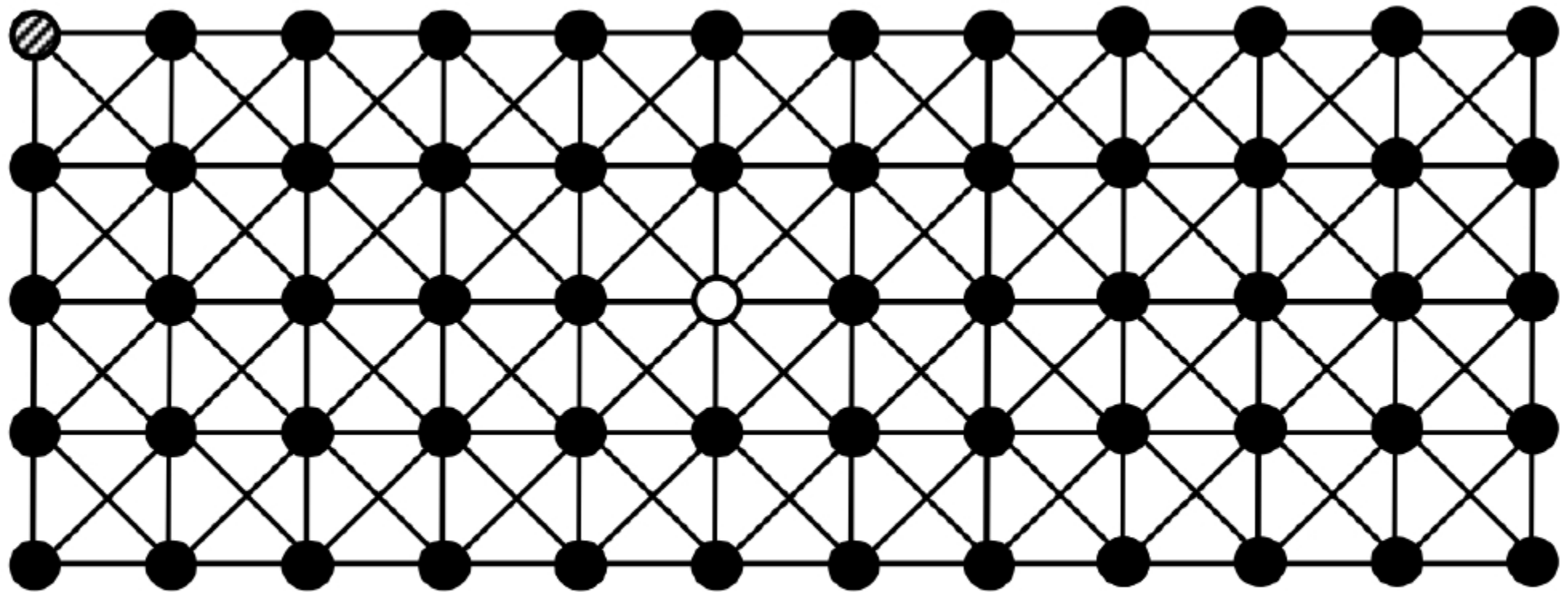
Regresijas rēķināšanai

Saknes mezgla ievēlēšana

- Var statiski norādīt sākumā (bāzes stacija)
- Var paši sevi izvirzīt par sakni
- Ko darīt, ja divi mezgli sevi izvirza?

FTSP eksperimenti

Daudz-lēcienu tīkls, sinhronizācija ik 30s



○ ID_1 – first leader

⦿ ID_2 – second leader

FTSP rezultāti

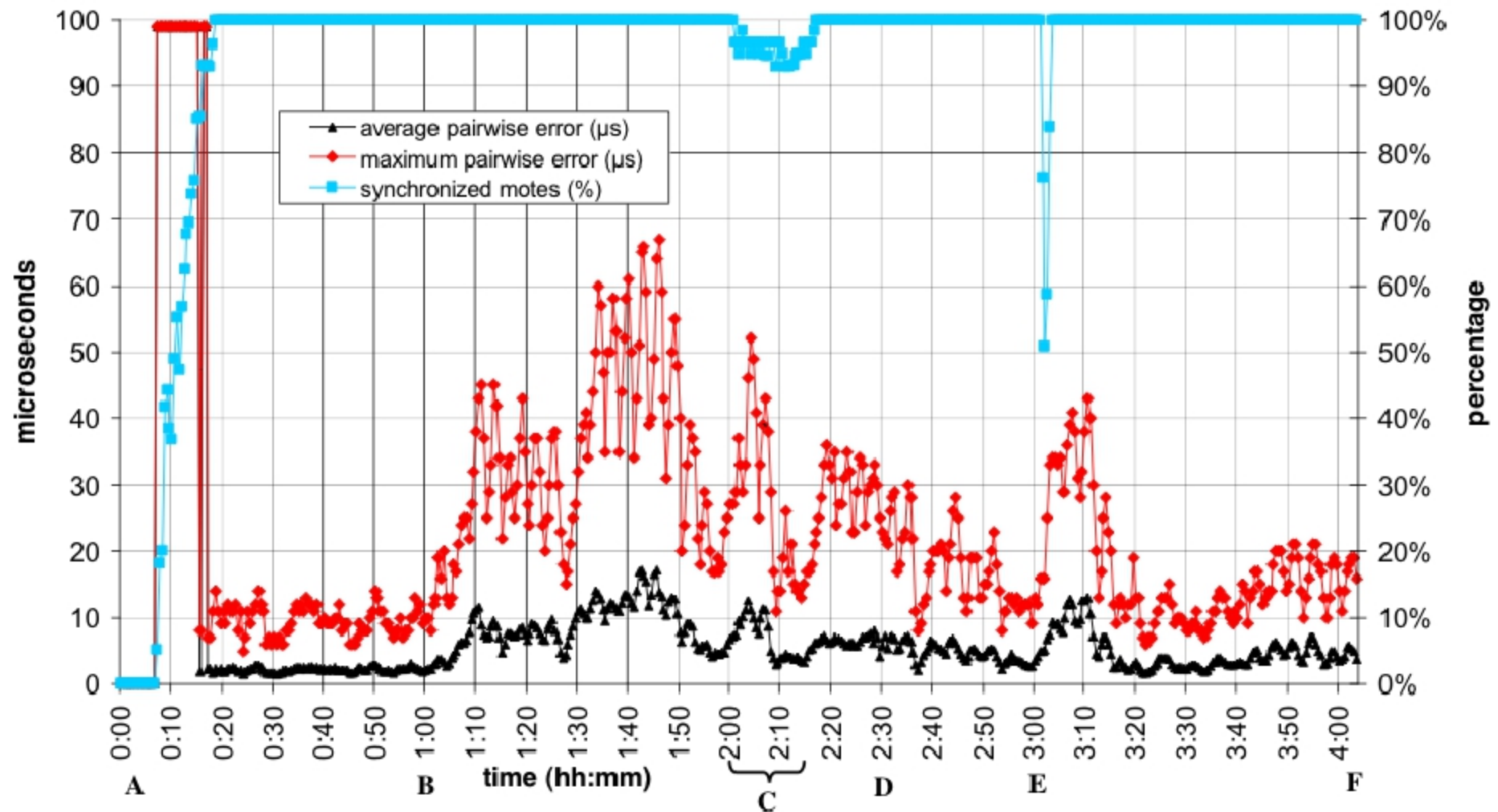


Figure 9. A 5x12 grid experiment shows the percentage of synchronized nodes, the maximum and average error (the maximum and average of the pairwise differences of the reported global times). The nodes were switched on at time A, the root ID_1 was switched off at B, randomly selected nodes were reset during C, half of the nodes were switched off at D, the same nodes were switched back on at E, and the experiment ended at F.

- A:** at 0:04 all motes were turned on;
- B:** at 1:00 the root with ID_1 was switched off, ID_2 becomes the new root, eventually;
- C:** between 2:00 and 2:15 randomly selected nodes were reset one by one with 30 second period;
- D:** at 2:30 the motes with odd node IDs were switched off (half of the nodes are removed);
- E:** at 3:01 the motes with odd node IDs were switched back on (100% new nodes were introduced);
- F:** at 4:02 the experiment was ended.

PPS

- Elektrisks signāls, īsāks par sekundi
- Regulārs
- Parasti pieejams no GPS uztvērēja
- Precizitāte
 - sekundē - 12 pico sekundēm līdz dažām μ s
 - dienā – 2.0 nano sekundes līdz dažas ms

Kopsavilkums

- Laika sinhronizācija svarīga gan datu vākšanā, gan komunikācijā
- Var panākt mikrosekunžu precizitāti
- Jāsinhronizējas periodiski
- Sākumā ir ievērojams stabilizācijas laiks

6. eseja

Aprakstiet, kādos gadījumos sensoru tīklos varētu iztikt bez jebkādas pulksteņa sinhronizācijas un kādos tā nebūtu iespējama? Atbildi pamatojiet!

Termiņš: 26.10.2016. 10:00