

Pulksteņu sinhronizācija

Uldis Bojārs

Kurss “Bezvadu sensoru tīkli” [B]

Datorikas fakultāte
Latvijas Universitāte

16.okt.2013.

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

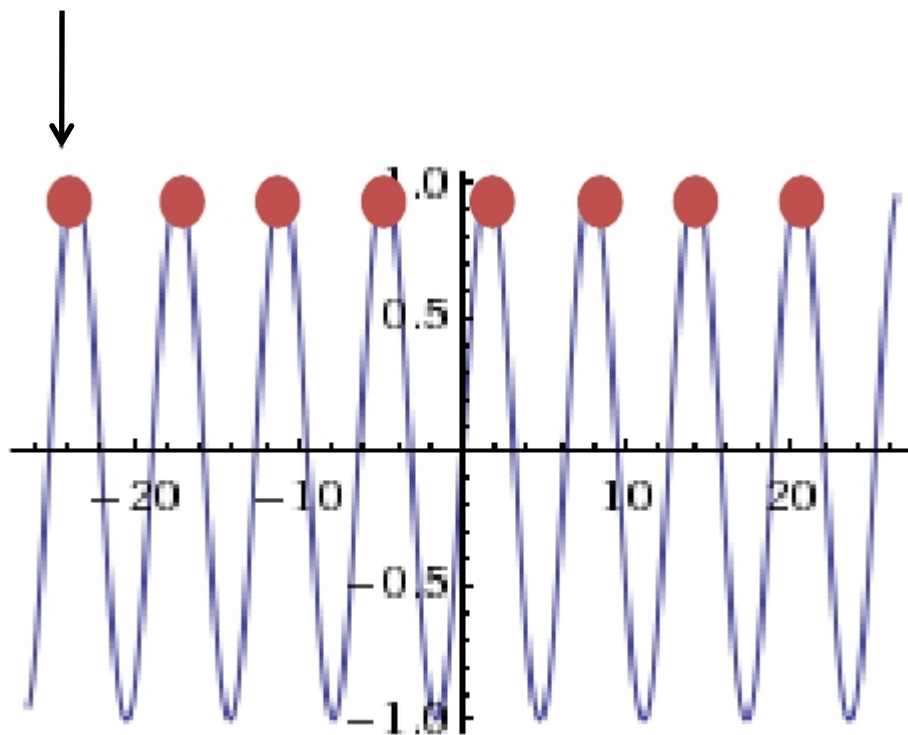


<http://rocky.digikey.com/weblib/CTS/Web%20photos/MXO45HS.jpg>

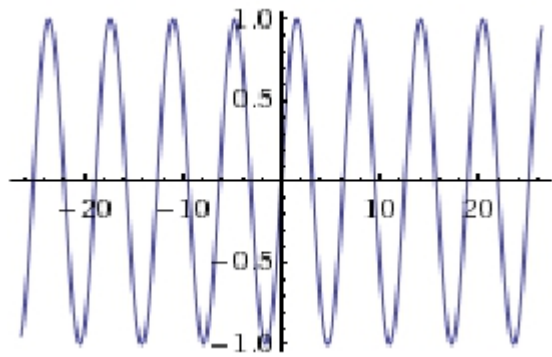
Oscilācijas

4'000'000 impulsi sekundē = 4MHz

Impulsi

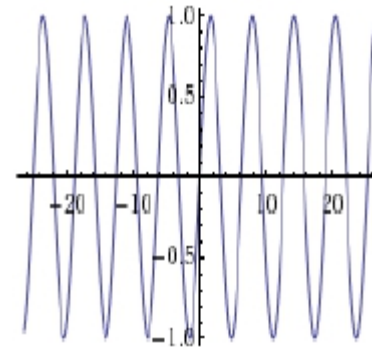


Apkārtējās vides ietekme

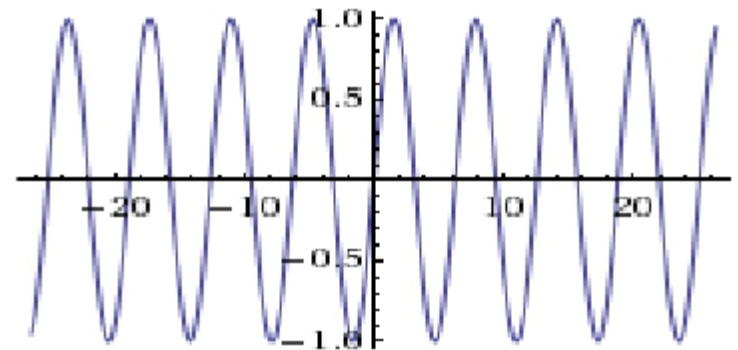


$$+ t^0 =$$

a)



b)



Piemērs

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



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

Gribas visiem vienādus pulksteņus

Ko darīt?



KVARZ

ACTIVE HYDROGEN MASER CH1-75A

MADE IN
RUSSIA

ON

OFF

AC PWR

DC PWR

ON

1 AVAIL

2 AVAIL

REM

T

SRQ

L

18.45.21

ERROR

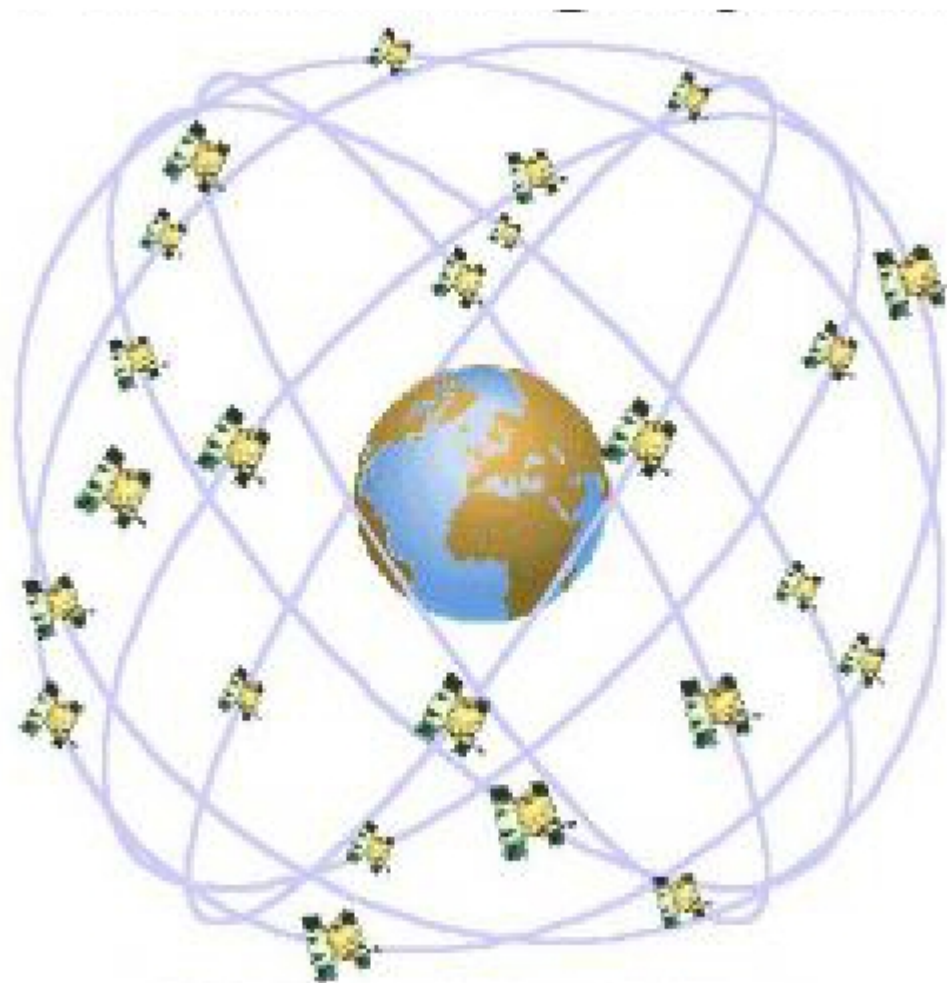
MASER

ACFC

SYNCH. UNIT

Globālā Pozicionēšanas Sistēma

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



GPS ir dārgs

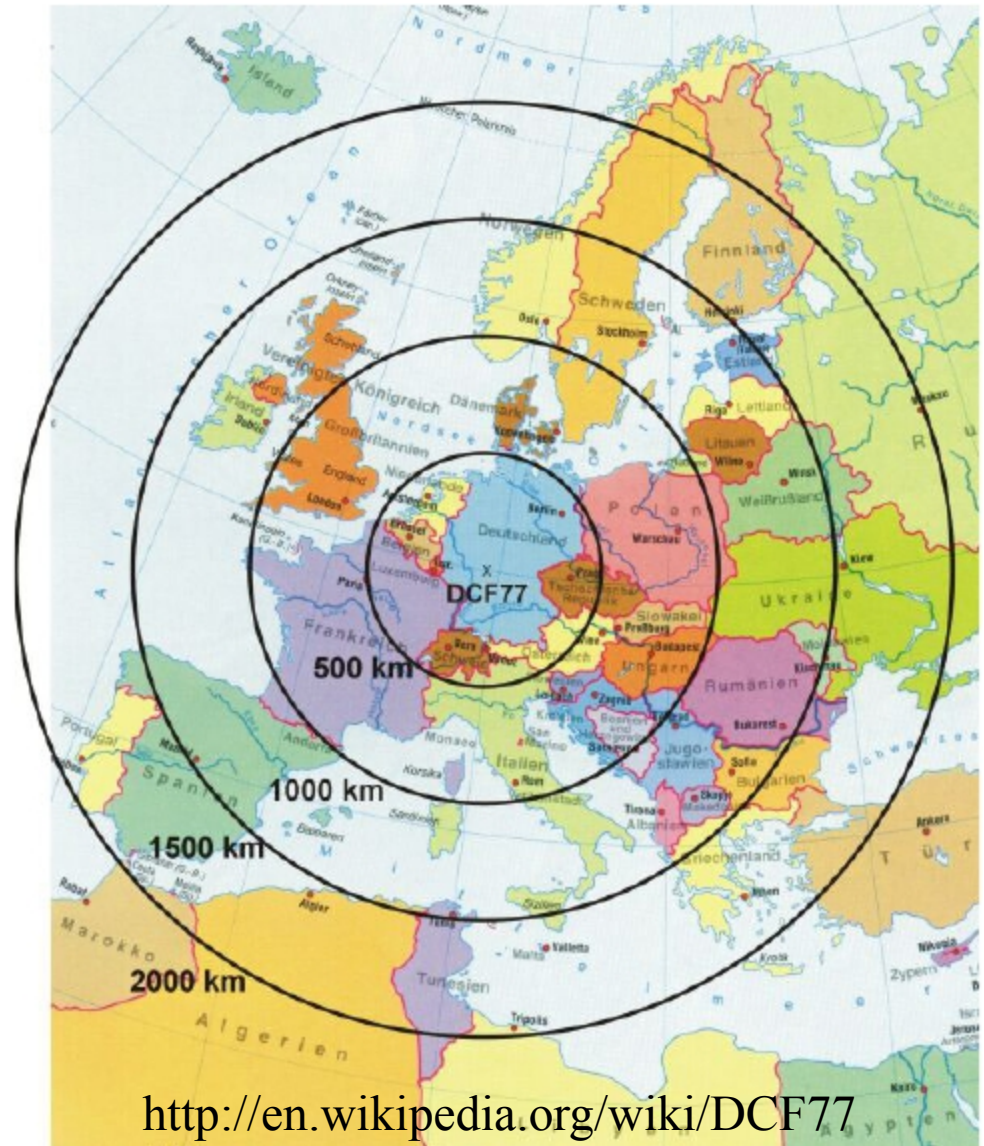
Table 2: Collar energy consumption

Mode	Active		mW daily
	sec/hour	mW	
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

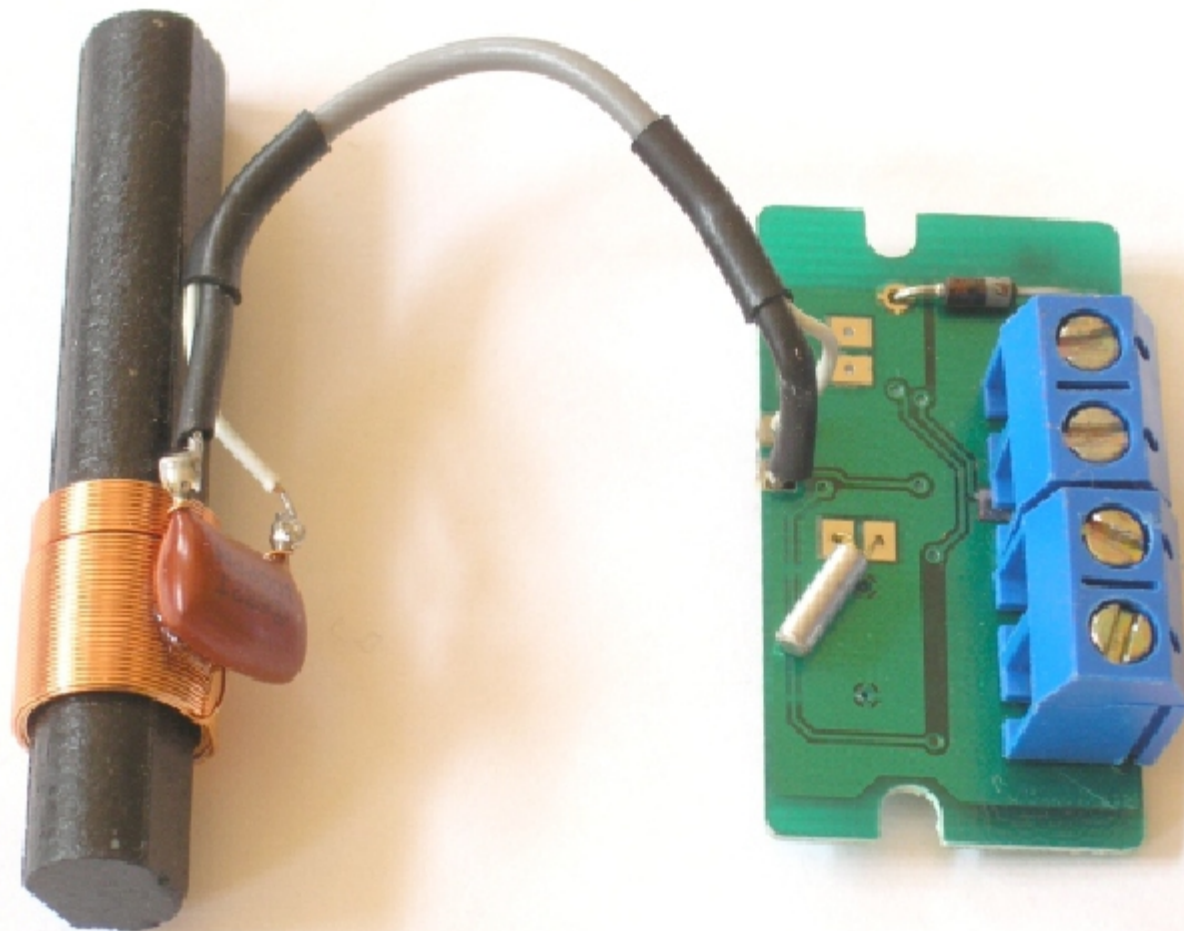
DCF77

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

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



DCF77 vajadzīga sava antena



Vai var bez papildus aprīkojuma?



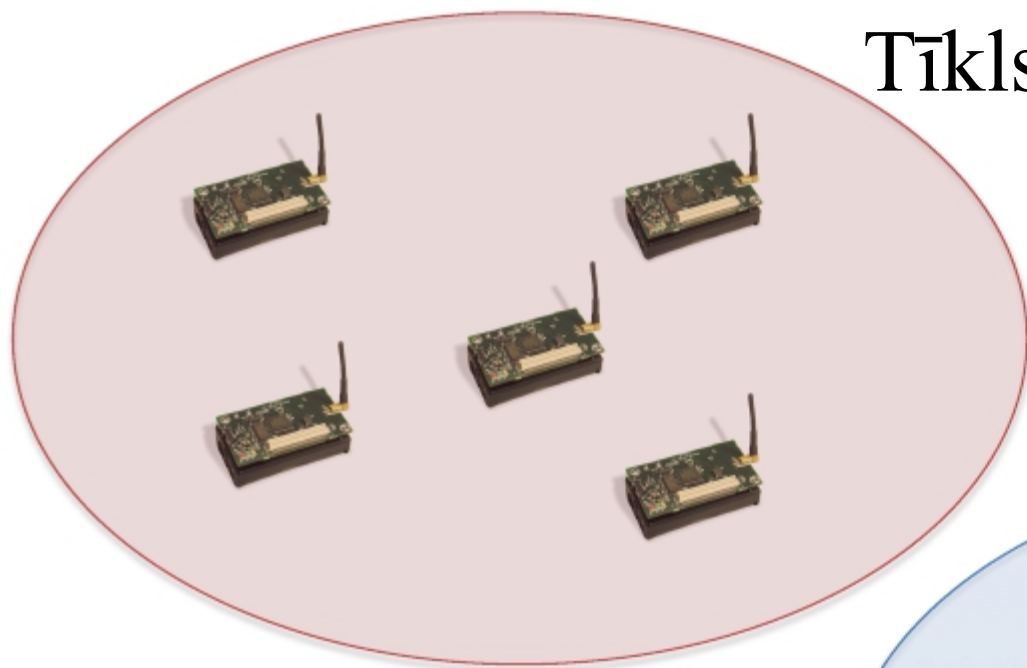
Kāpēc vajag sinhronus pulksteņus?

Kāpēc vajag sinhronus pulksteņus?

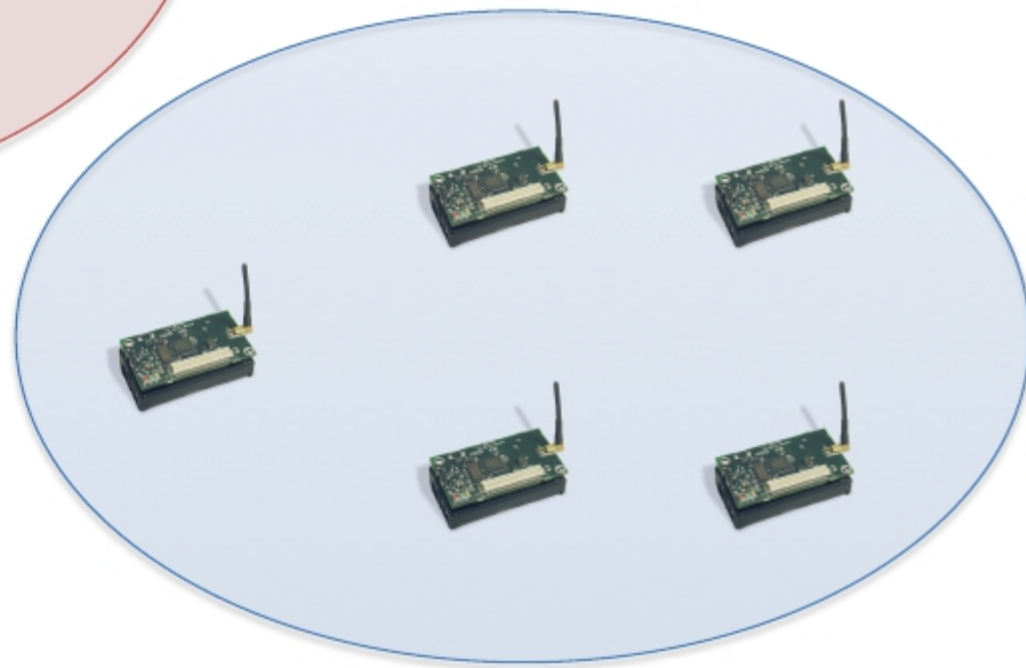
- Datu apstrādei – izrēķināt vidējās vērtības, atvasinājumus
- Datu interpretācijai – kad dati savākti? Vai X1 un X2 apraksta vienu notikumu?
- TDMA MAC protokoliem, maršrutizācijai
- Kopīgam *duty cycling*

Ar lokālu sinhronizāciju pietiek

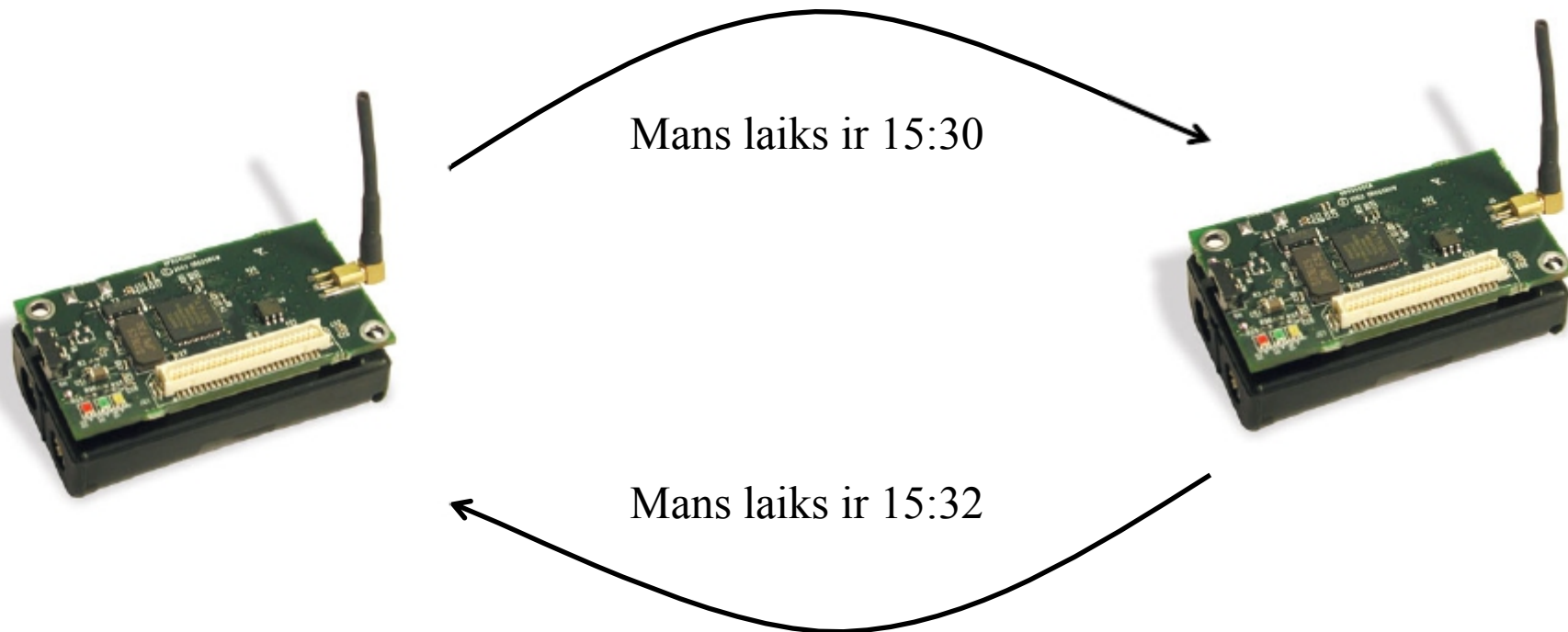
Tīkls 1, 15:30



Tīkls 2, 16:20

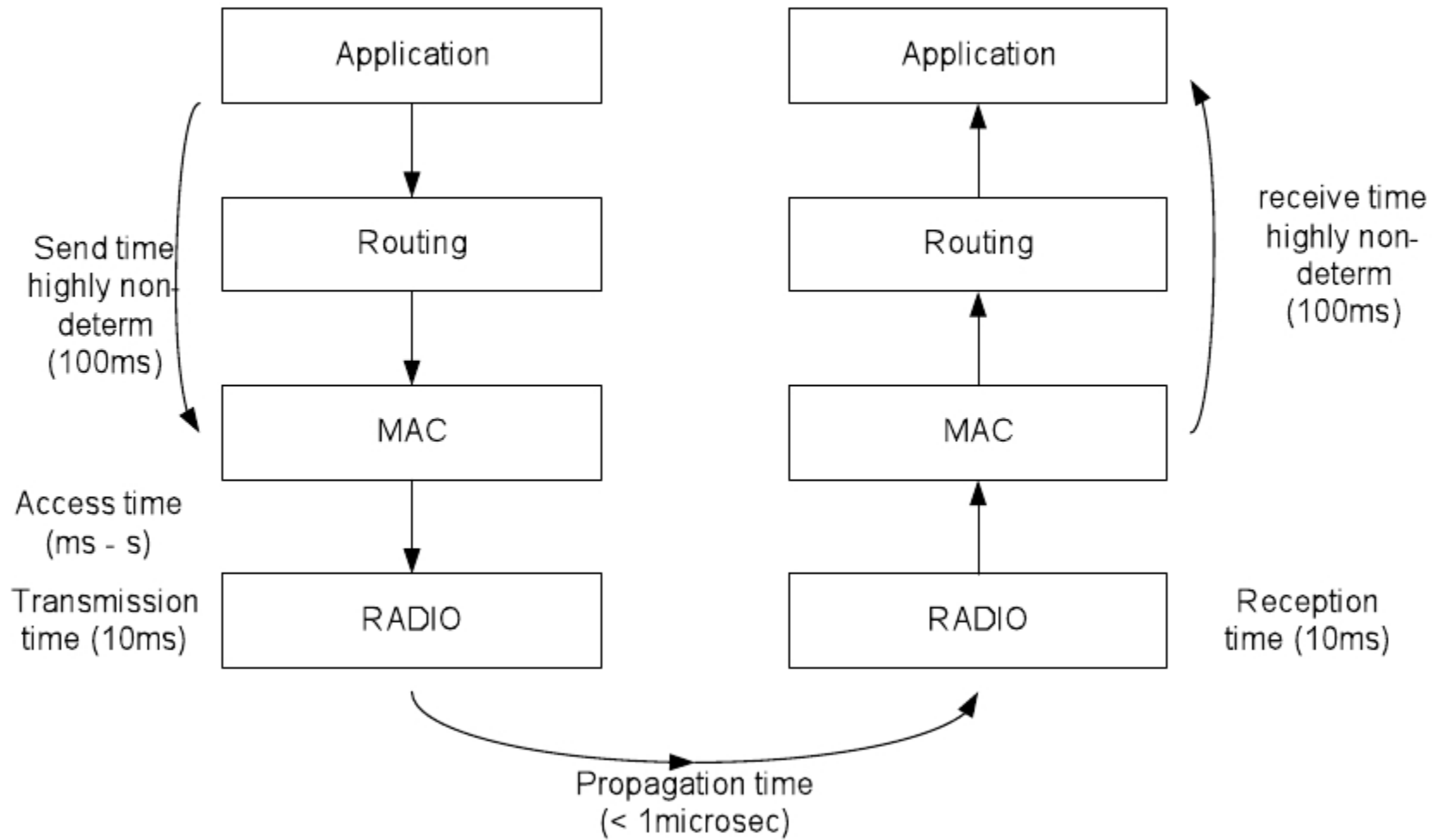


Galvenā ideja



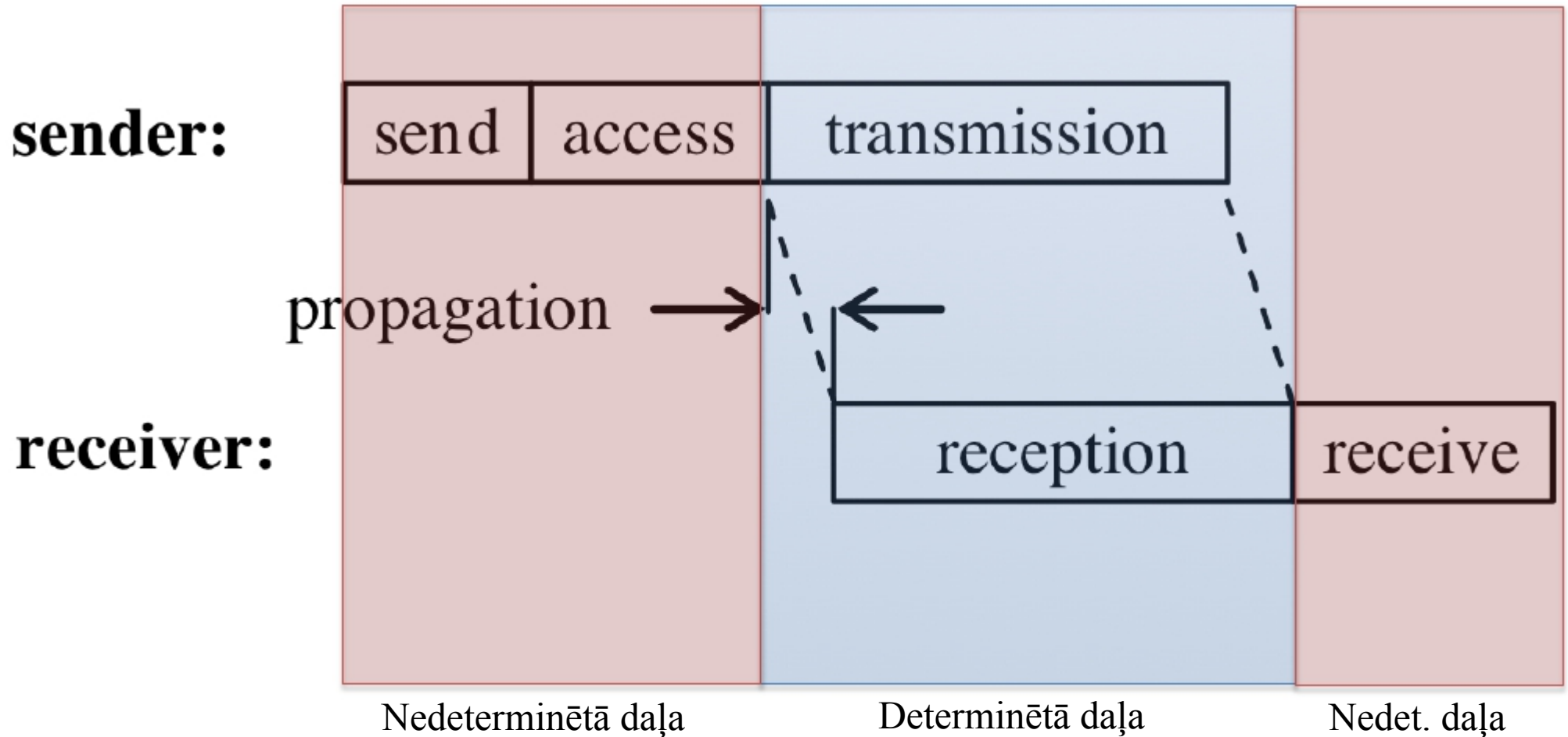
Sinhronizētais laiks = $F(T1, T2)$

Kur rodas aiztures?



Kas ir slikts aizturēs?

Nedeterminētas 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

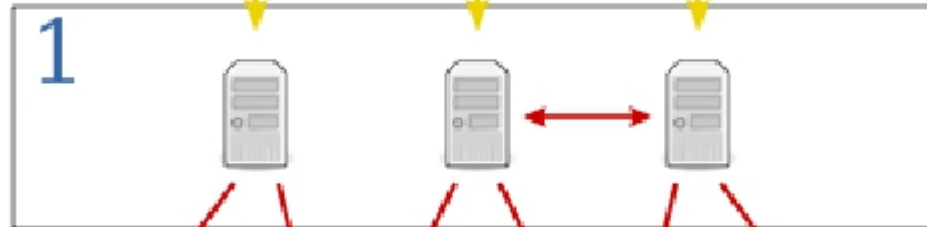
- NTP – ne īsti piemērots BST
- RBS
- TPSN
- FTSP

NTP

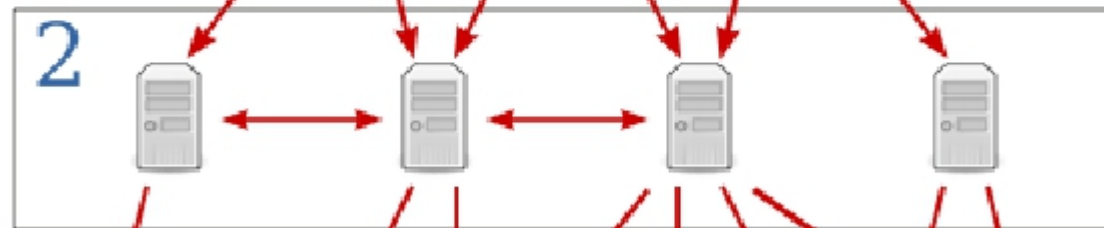
Ultra precīzi pulksteņi



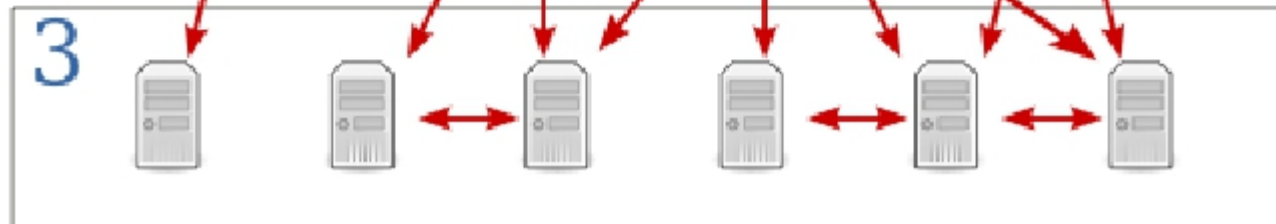
Tiešs savienojums



Internet savienojums



Internet savienojums



NTP nav piemērots BST

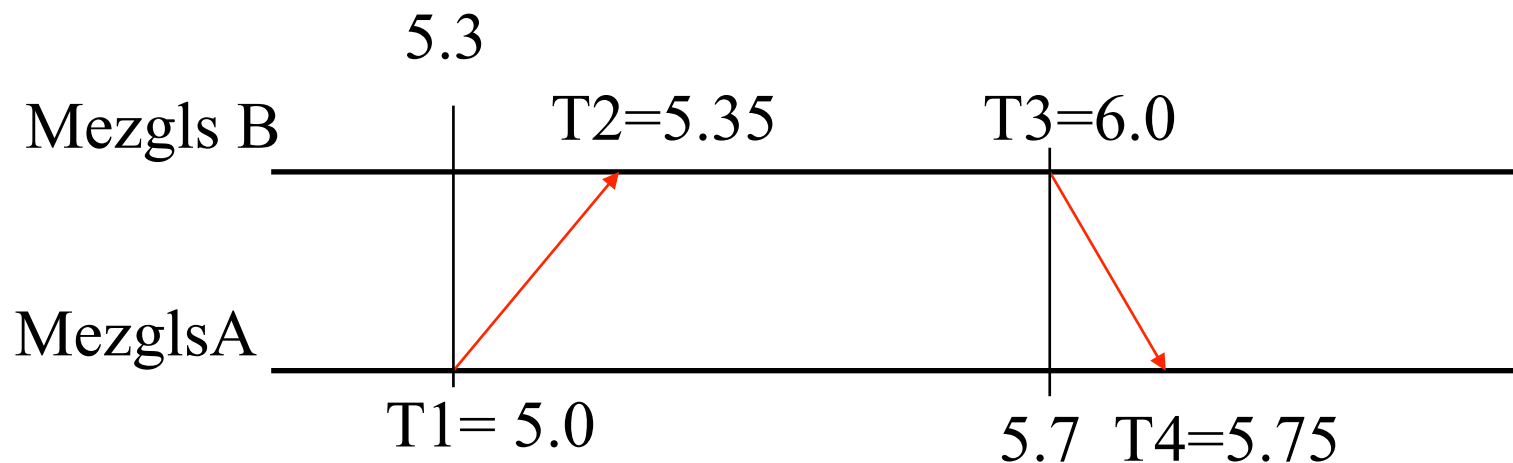
- Nedeterminētība MAC un tīkla līmenī (>100ms uz katru lēcianu)
- Sarežģīta implementācija
- Liels koda izmērs
- Enerģiju netaupošs

RBS, 2002.g.

Reference Broadcast Synchronization

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

Pāru sinhronizācijas piemērs



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

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

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

$$P = .05$$

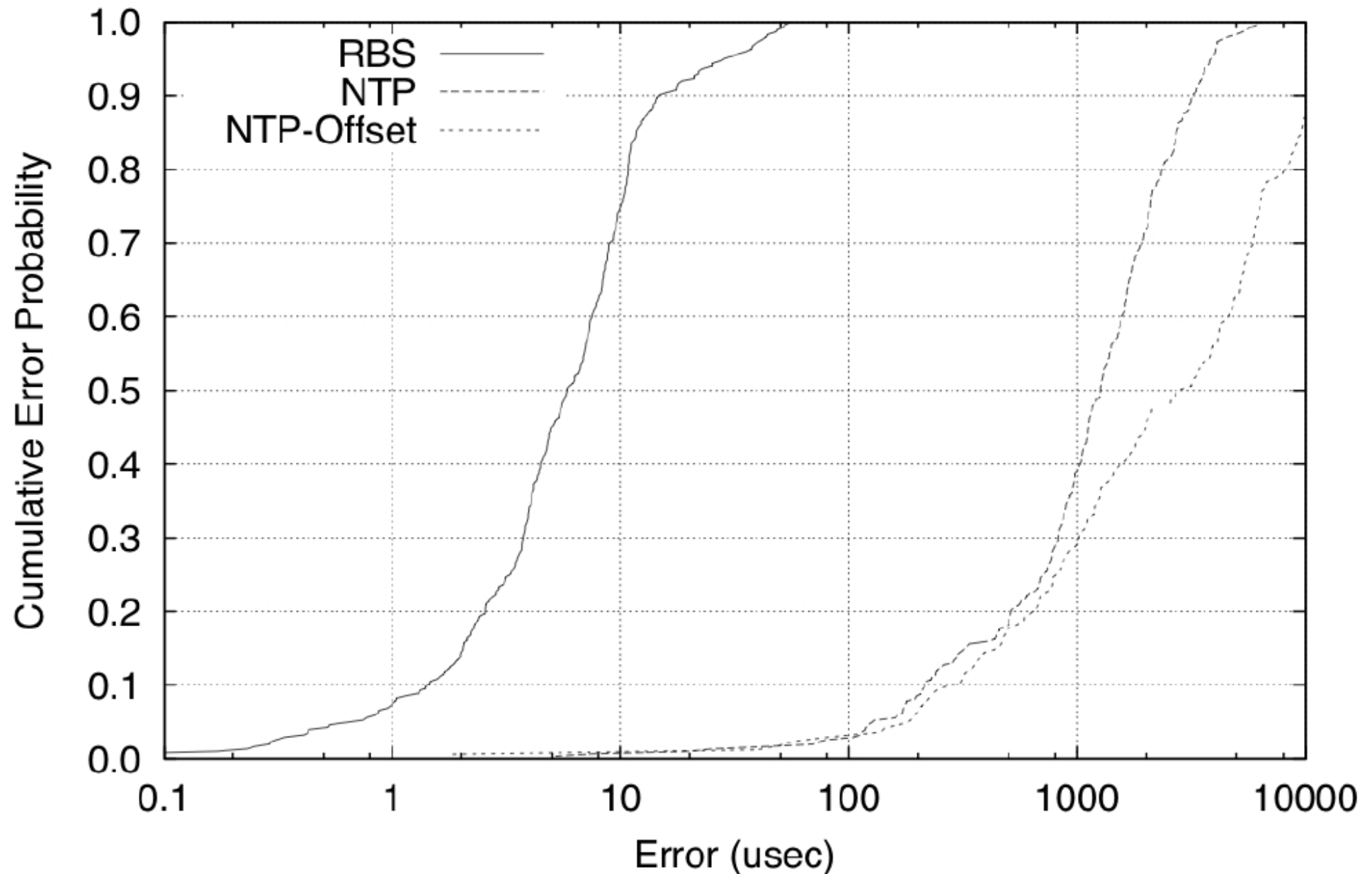
$$\text{Delta} = T2-T1-P$$

$$\text{Delta} = .35-.05$$

$$\text{Delta} = .3$$

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

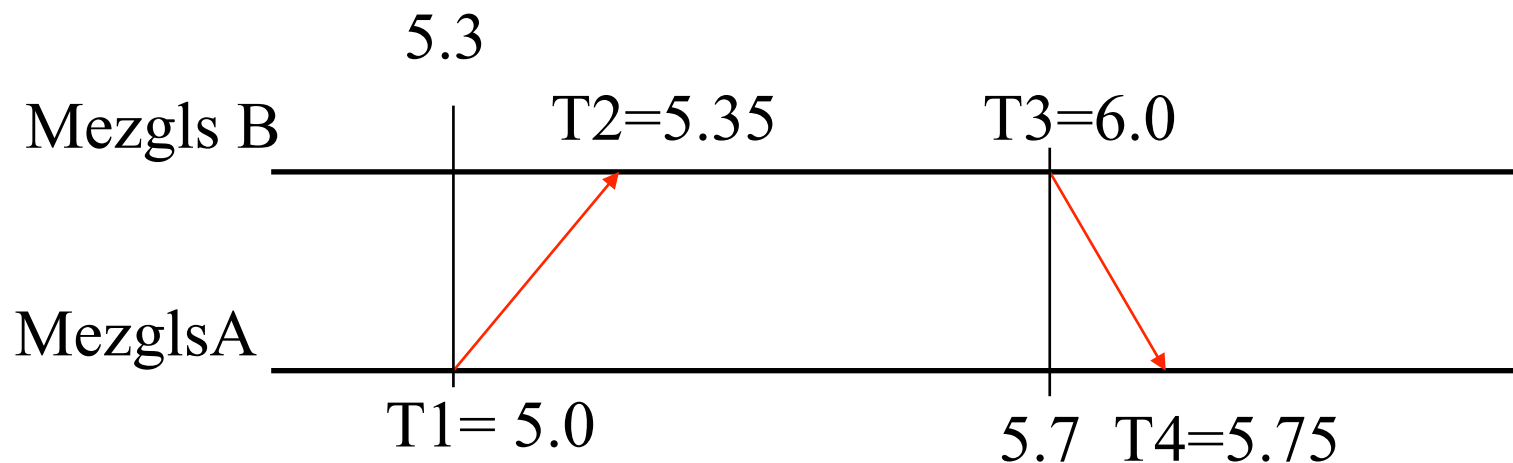
- + Nav sūtītāja nedeterminētības
- + Minimāla tīkla noslodze
- Darbojas tikai 1-lēciena tīklos
- Visiem jādzird svilpiens

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

Pāru sinhronizācijas piemērs



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

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

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

$$P = .05$$

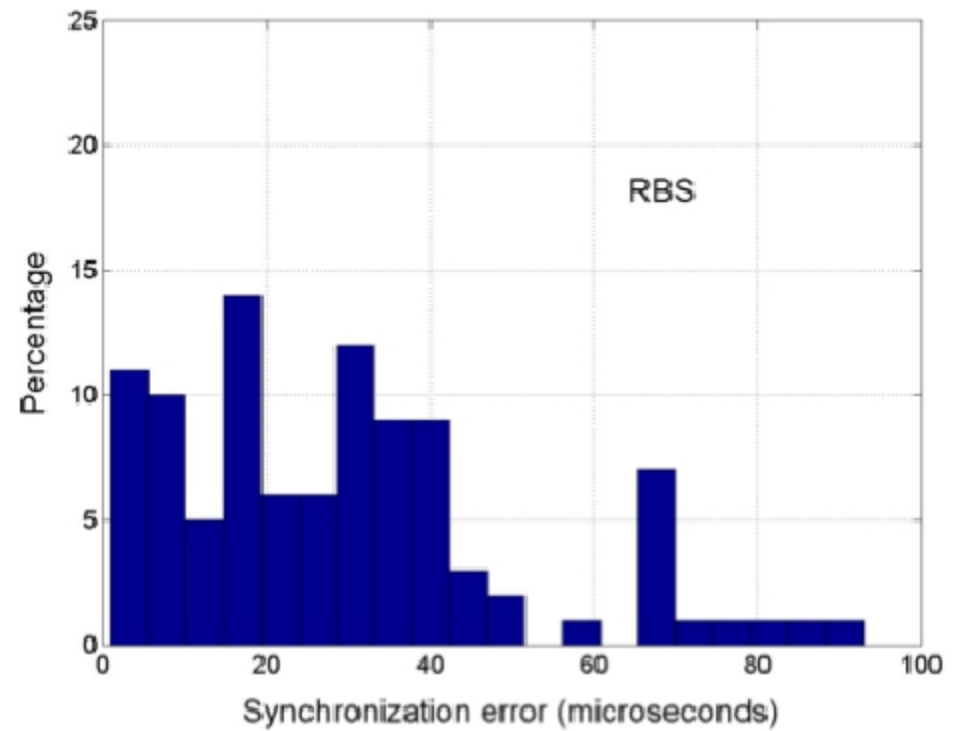
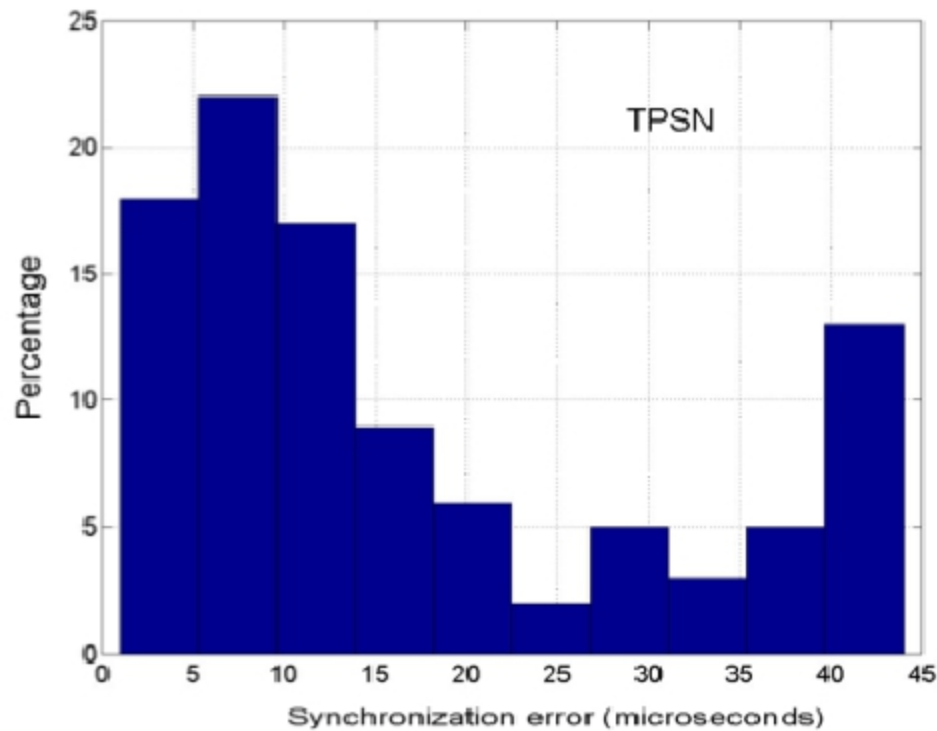
$$\text{Delta} = T2-T1-P$$

$$\text{Delta} = .35-.05$$

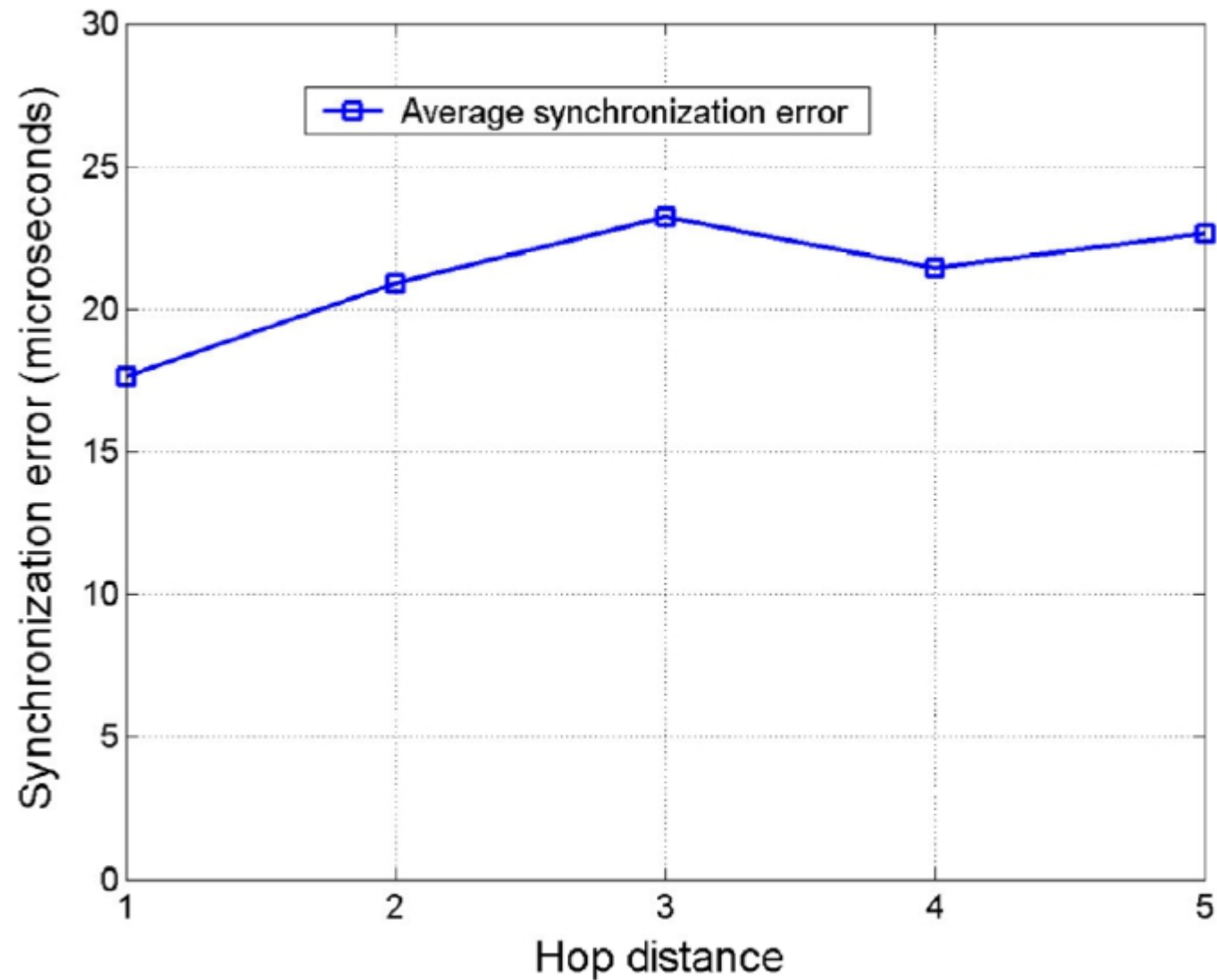
$$\text{Delta} = .3$$

A pieskaita .3 pie 5.75, iegūst laiku 6.05

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.

- 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

FTSP raksts

- The Flooding Time Synchronization Protocol.
 - M.Maroti et al.
 - Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded networked sensor systems, ACM, 2004.
- skat. Google Scholar

Paliek determinētas aiztures*

- Sūtīšana
- Signāla izplatīšanās
- Saņemšana

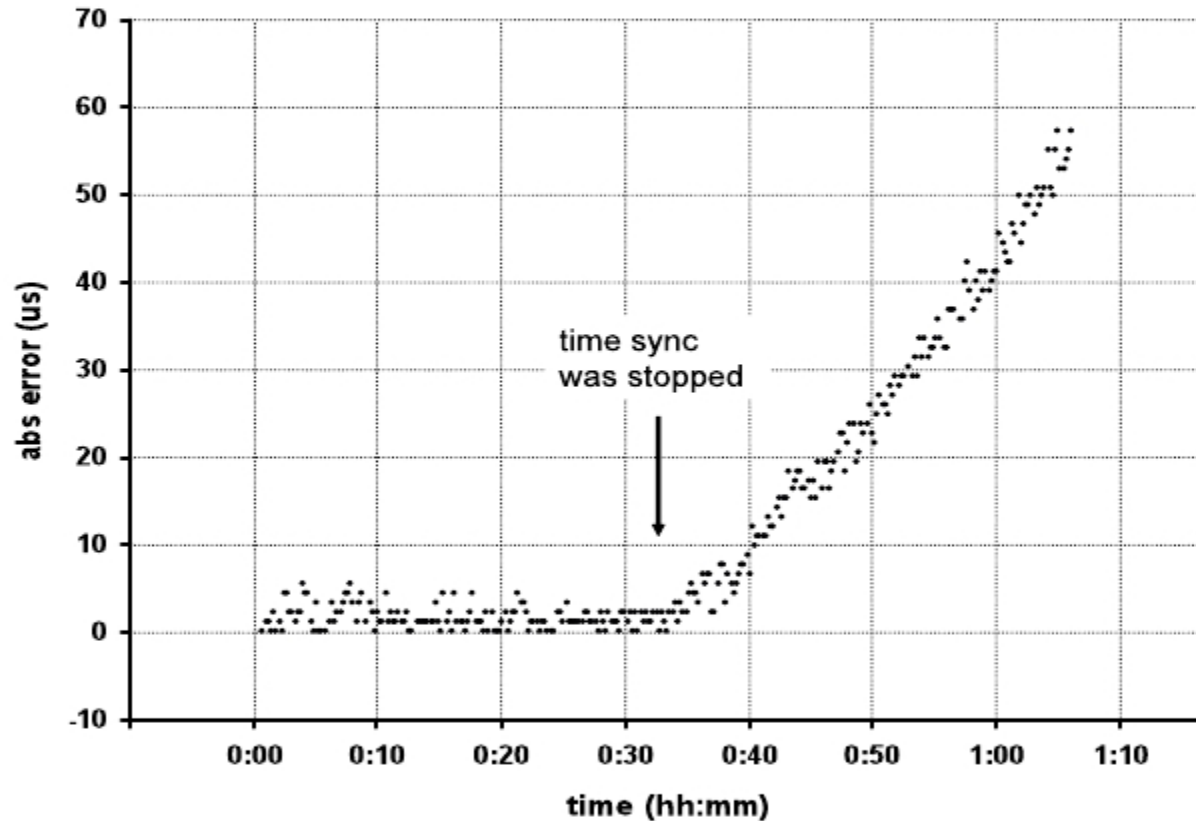
} = $F(l, s, d)$,
l – pakas izmērs
s – pārraides ātrums
d – attālums starp mezgliem

* - 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

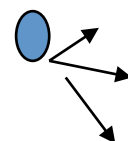
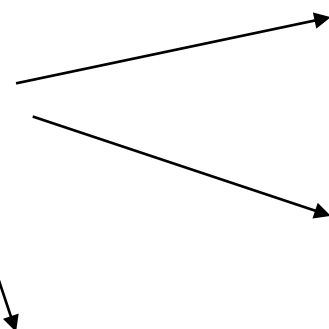
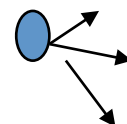
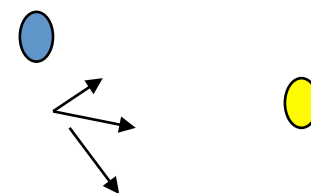
Saknes mezgls

Solis 1

Solis 2

8 sync ziņas

Lineārās regresijas
rēķināšanai



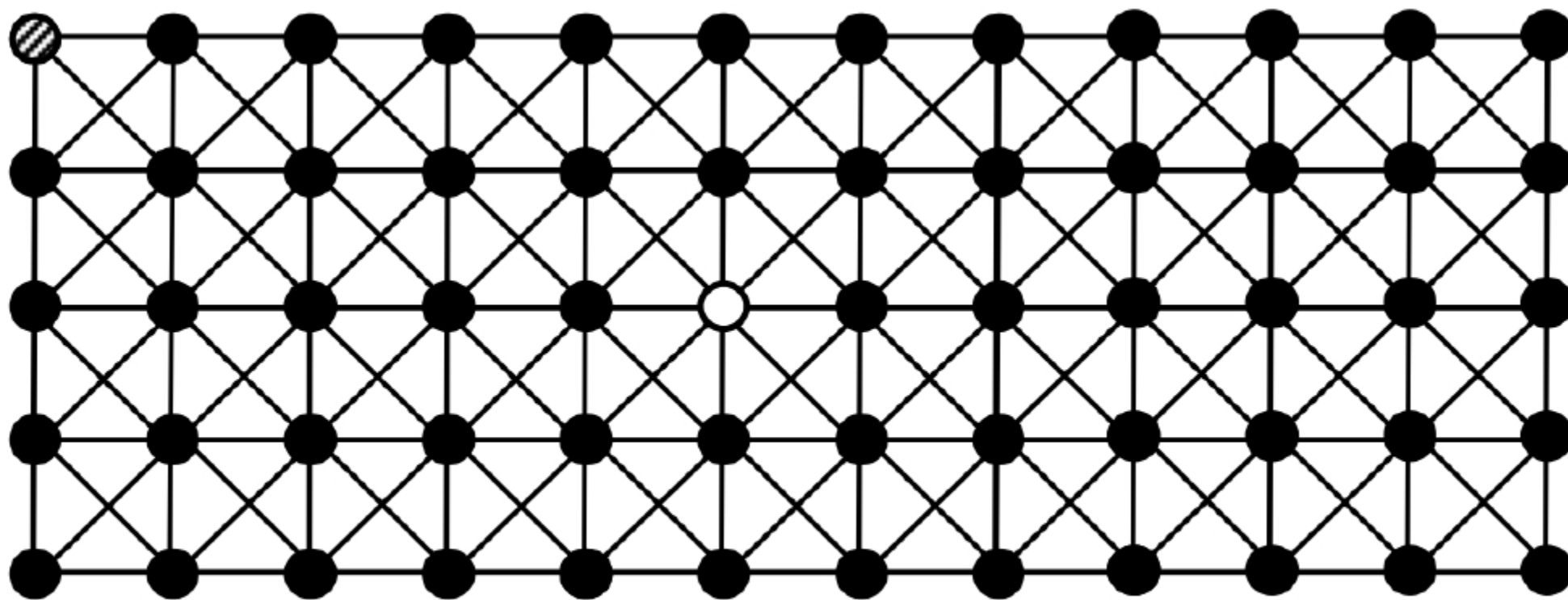
Ko darīt, saņemot
sync ziņu no
vairākiem
mezgliem?

Saknes mezgla ievēlēšana

- Var statistiski 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

TPSN rezultāti

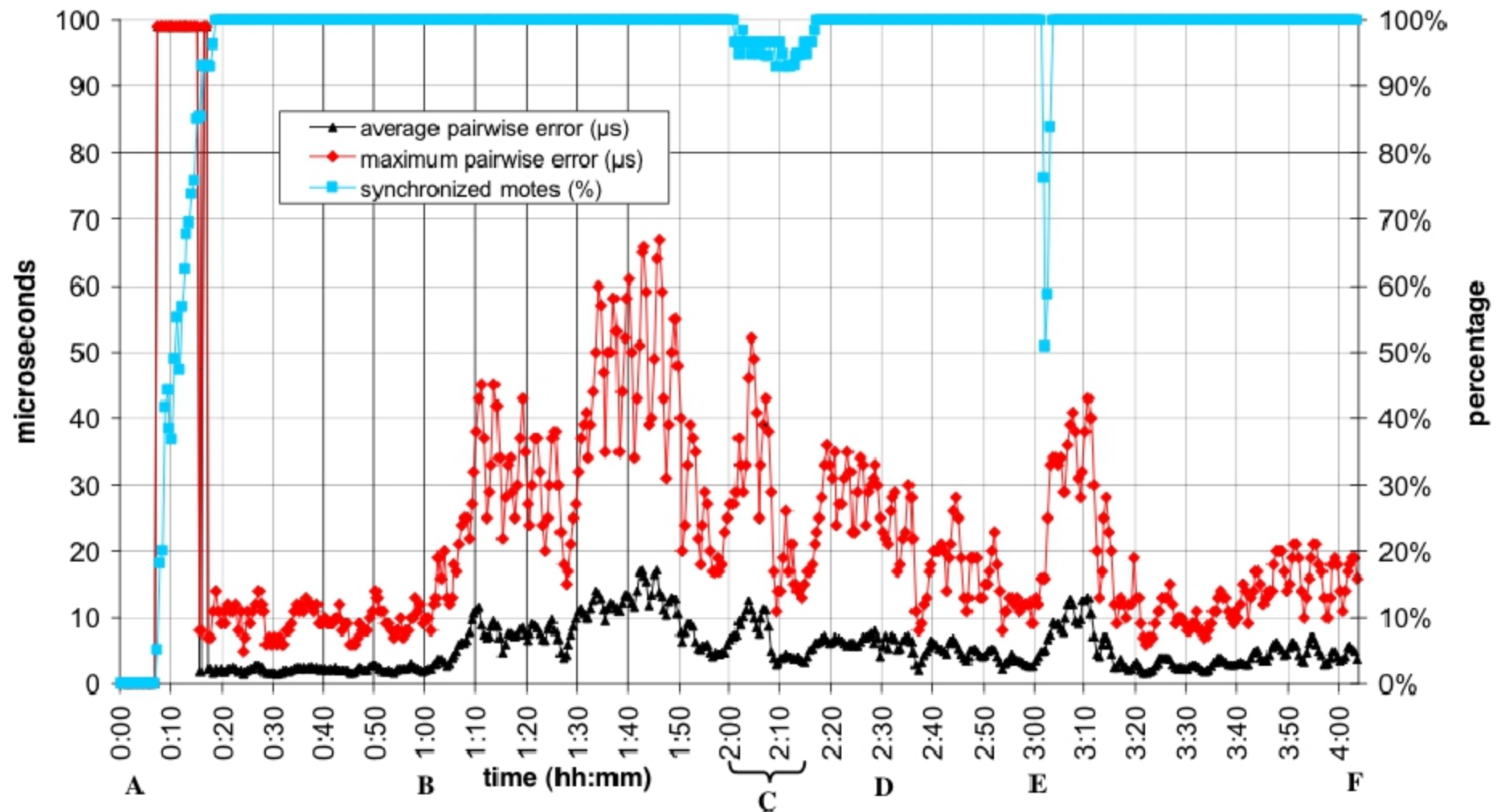


Figure 9. A 5x12 grid experiment shows the percentage of synchronized nodes, the maximum and average error (the maximum and average of the pairwise differences of the reported global times). The nodes were switched on at time A, the root ID_1 was switched off at B, randomly selected motes were reset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

Kopsavilkums

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

6. Eseja

1. Kādos gadījumos sensoru tīklos varētu iztikt vispār bez jebkādas pulksteņa sinhronizācijas?
2. Kādos gadījumos sinhronizācija principā nav iespējama?

Termiņš: 23.10.2012.

Ekskursija uz EDI

Vieta, kur rast idejas
BST kursa projektam :)

Dzērbenes iela 14, Rīga

Nokļūšana:

Sab. transports, kas iet
pa Brīvības ielu uz t/c "Alfa"

Pietura: Dzērbenes iela



Tikšanās: 13:00 EDI institūta vestibilā (trešdien, 23.10.2013)