




ELMÉLET

2010.
03.10.
Beágyazott
információs
rendszerek

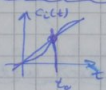
4. ... ÓRAK SZINKRONIZÁLÁSA

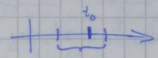
- Közp. órarendszerek 
- Közp. felügyelt  $(M)S; Tempo$ 
↳ ha baj van vele, az egész rendszerrel baj van
→ melegtartalommal

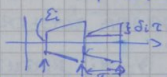
- Elosztott órarendszerek Együttfutás (Π)

1. alga: Maximális loba minimalizálása

$C_i(t_0) = t_0$



$[C_i(t) - E_i(t); C_i(t) + E_i(t)]$ 

$E_i(t)$ összetevők: 

E_i alaploba, maradékloba S_i resetidőben
 μ_i^i késleltetés i -edik óra kielégítése és j -edik frissítés között.

δ_i drift (érték)

HA KÉRÉS ÉRKEZIK $j \neq i$ -TŐL

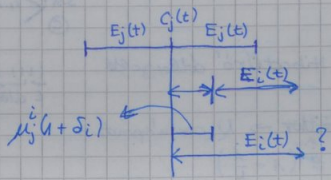
do
 $E_i(t) \leftarrow E_i + [C_i(t) - g_i] \delta_i$ } I. szabály (i-edik óra személynébe)
SEND $[C_i(t), E_i(t)]$ to j

enddo
LEGALÁB B EGY SZER MINDEN τ KÖZÖNKÉNT
 $\forall j \neq i$: REQUEST $[C_j(t), E_j(t)]$;

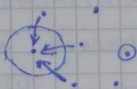
for $j \neq i$ do begin
RECEIVE $[C_j(t), E_j(t)]$; → intervallumok átlapolásának
IF $[C_j(t), E_j(t)]$ is consistent with $[C_i(t), E_i(t)]$
THEN IF $[E_j(t) + \mu_j^i (1 + \delta_i)] < E_i(t)$
THEN BEGIN
 $C_i(t) \leftarrow C_j(t)$
 $E_i \leftarrow E_j(t) + \mu_j^i (1 + \delta_i)$
 $S_i \leftarrow C_j(t)$
END

I. szabály

ELSE IGNORE IT
enddo

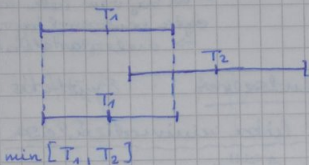


Membership



1	1	1	1	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---

1



2. alga: Intervallumok metsése

I. szabály egyenlő

LEGALABB EGYSEK $\forall \tau$ IDŐKÖZÖNKÉNT
do

$\forall j \neq i$ REQUEST $[C_j(t), E_j(t)]$

$\forall j \neq i$ RECEIVE $[C_j(t), E_j(t)]$

$\forall j \neq i$ $L_j(t) \leftarrow [C_j(t) - E_j(t)]$

$\forall j \neq i$ $R_j(t) \leftarrow [C_j(t) + E_j(t) + \mu_j^i (1 + \delta_i)]$

$\alpha \leftarrow \max L_j$

$\beta \leftarrow \min R_j$

if $(\alpha < \beta)$ then

$e_i \leftarrow \frac{1}{2} (\beta - \alpha)$

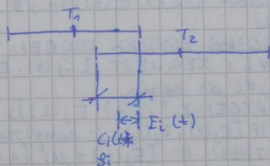
$C_i(t) \leftarrow \frac{1}{2} (\beta + \alpha)$

$S_i(t) \leftarrow \frac{1}{2} (\beta + \alpha)$

~~end~~ end

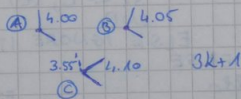
else ignore all

enddo



Megjegyzés:

① Hibamodell \rightarrow "Haudós" / Bizánci típusú leiba



② Hibatűrő átlagolás

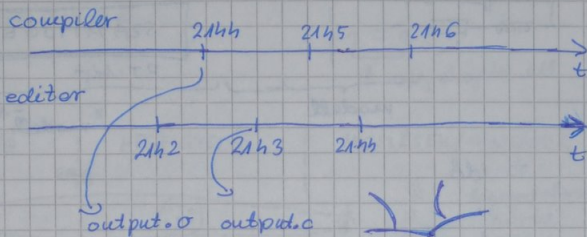


③ Filter \rightarrow N csomópont

$$\pi = \varepsilon \left(1 - \frac{1}{N}\right)$$

4. UNIX MAKE program

Pl. Forrásfájl: input.c 2151. időpillanat } újbbeli fordítás
 Object fájl: input.o 2150
 output.c 2141 } nem kell
 output.o 2145 } újbbeli fordítás



Make nem hívja a compilert, mert a későbbi a hívás

5. MENNYISÉGEK, VÁLTOZÓK VALÓS IDEJŰ RENDSZEREK BEN

Real-time lép	Max változás	Pontosság	Sajátos pontosság?
Dugattyú pozíció	6000 ford/perc	0,1%	$\approx 3 \mu\text{sec}$
Gázpedál pozíció	100%/sec	1%	10ms
Motor terhelés	50%/sec	1%	20ms
Olaj és víz hőmérséklet	10%/perc	1%	6 sec

100 ford/sec;

1 ford \Rightarrow 10ms

\downarrow
 $360^\circ \Rightarrow \frac{10}{360} \text{ms} \approx 30 \mu\text{s}$

$0,1^\circ \Rightarrow \frac{10}{3600} \text{ms} \approx 3 \mu\text{s}$

VALÓSÁG

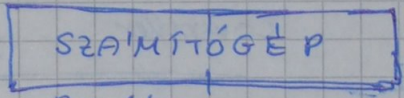
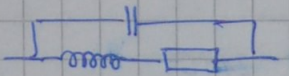
MEGFIGYELÉSEK

BÉCSLÉSEK /
DÖNTÉSEK

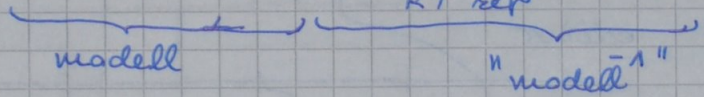
x állapot
a paraméter
S struktúra

bizonytalanosság
x
a
S

zaj

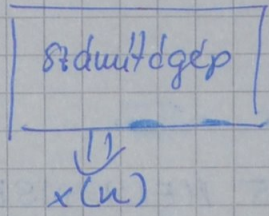
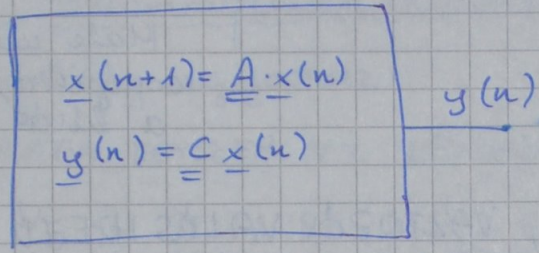


RT lép



t idő

?
t + Δ idő

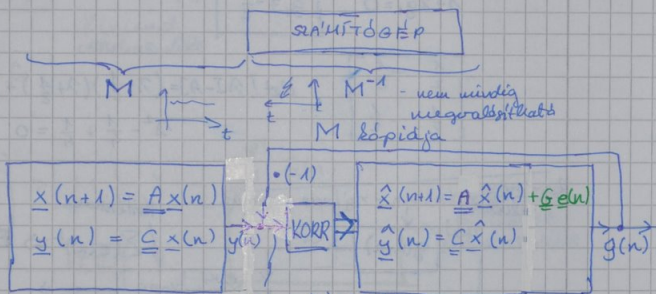
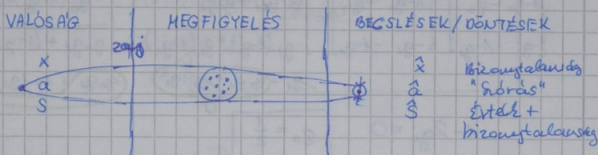
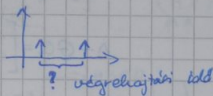
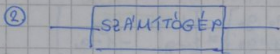


ELMÉLET

2010.
03.11.
Bekapcsolott
információs
rendszer

5. MENNYISÉGEK, VÁLTOZÓK KT RENDSZEREK BÉN

① $\boxed{3\mu s \rightarrow 6s}$
 $\sim 10^6$



$$e(n) = y(n) - \hat{y}(n) = C(x(n) - \hat{x}(n))$$

$$\underbrace{x(n+1) - \hat{x}(n+1)}_{\varepsilon(n+1)} = Ax(n) - A\hat{x}(n) - GC[x(n) - \hat{x}(n)] = \underbrace{[A - GC]}_F \underbrace{[x(n) - \hat{x}(n)]}_{\varepsilon(n)} = F^{n+1} \varepsilon(0)$$

Hibarendszer legyen konvergens: $\varepsilon(n) \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$

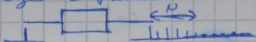
$F \Rightarrow$ kontrakív

$$\varepsilon(1) = F \cdot \varepsilon(0)$$

$$\varepsilon(2) = F \cdot \varepsilon(1) = F^2 \varepsilon(0)$$

① $A = GC, F = 0, \boxed{A \cdot C^{-1} = G}$ C végzetes

② $F^N = 0, N = \dim[F]$
véges lépés \Rightarrow véges memória
véges impulzusválasz



$$G \Rightarrow (A - GC)^N = 0$$

F összes sajátértéke nulla

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \quad 1]; \quad G = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \end{bmatrix}$$

$$A - GC = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_0 & g_0 \\ g_1 & g_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-g_0 & -g_0 \\ -g_1 & -1-g_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1-g_0 & -g_0 \\ -g_1 & -1-g_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1-g_0 & -g_0 \\ -g_1 & -1-g_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-g_0)^2 + g_0 g_1 & -g_0(1-g_0) + g_0(1+g_1) \\ -g_1(1-g_0) + g_1(1+g_1) & g_0 g_1 + (1+g_1)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$1 - 2g_0 = 0$$

$$1 + 2g_1 = 0$$

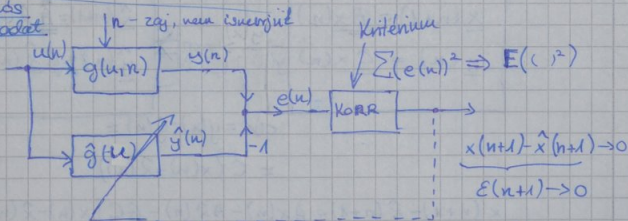
$$\begin{bmatrix} g_0 = \frac{1}{2} \\ g_1 = -\frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

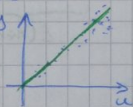
$$\det[\lambda I - A] = (\lambda - \frac{1}{2})(\lambda + \frac{1}{2}) + \frac{1}{4} = 0 \quad \left| \lambda^2 = 0 \right.$$

$$\lambda^2 - \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 0$$

Regresszió feladat



$$\hat{g}(u) = a_0 + a_1 u \quad \text{lineáris fit.}$$



véletlen
adatok

lineáris regresszió

$$\mathcal{E} = \mathbf{E}\{[y(n) - \hat{g}(u)]^2\} \rightarrow \min$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial a_0} \Rightarrow \mathbf{E}\{[y(n) - a_0 - a_1 u(n)]^2\} \Rightarrow 2 \mathbf{E}\{e(n) \cdot (-1)\}$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial a_1} \Rightarrow \mathbf{E}\{[y(n) - a_0 - a_1 u(n)]^2\} \Rightarrow -2 \mathbf{E}\{e(n) u(n)\}$$

$$\mathbf{E}\{e(n)\} = 0 \quad \mathbf{E}\{y(n)\} - a_0 - a_1 \mathbf{E}\{u(n)\} = 0$$

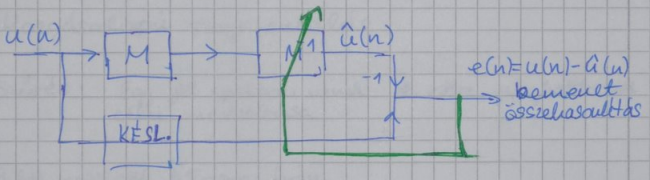
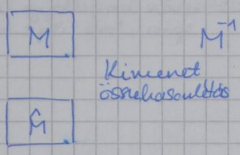
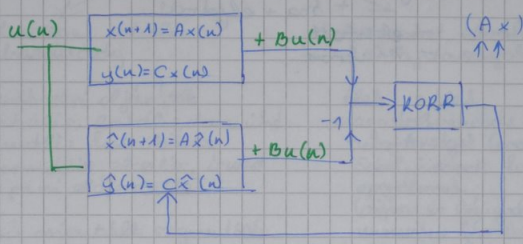
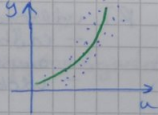
$$a_0 = \mathbf{E}\{y(n)\} - a_1 \mathbf{E}\{u(n)\}$$

$$\mathbf{E}\{e(n)u(n)\} = 0; \quad \mathbf{E}\{y(n)u(n)\} - a_0 \mathbf{E}\{u(n)\} - a_1 \mathbf{E}\{u^2(n)\} = 0$$

$$\Rightarrow \begin{matrix} a_1 = \\ a_0 = \end{matrix}$$

$$\hat{g}(u) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 u + \hat{a}_2 u^2 + \dots$$

Polinomiális regresszió



MEGFIGYELÉS: < NÉV, MEGF. IDŐ, MEGF. ÉRTÉKE >

Megjegyzések:

- ① Minis globális idő => érkezési idő! (?)
 - ② Szűrelett megf. => modell alapú!
 - ③ Állapot megfigyelés
 - ④ Esemény megfigyelés
- => időfordó

ET, TT

RT veltord kepe

- iddbeni
 - amplitudobeli
 - iddbeni erudnyesedg
- } pontassdg

RT objektum

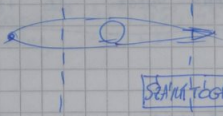
+ ora + eljdras

- elostott
- nineron

ELMÉLET

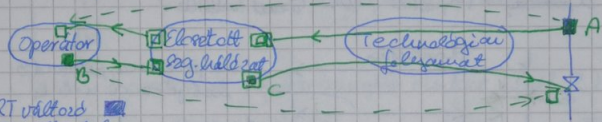
5. MENNYISÉGEK, VÁLTOZÓK

2010.
03.17.
Beágyazott
informatika
rendszer



- Megfigyelt
- indított
 - állapot
 - változás/kezelés
- RT lép
RT objektum
- rendelkezés
- elosztott

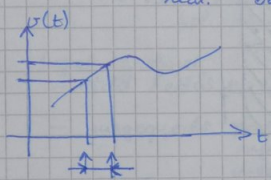
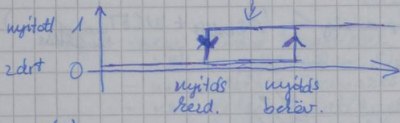
Befolyásolhatósági tartomány



RT változó ■
RT változó lép □
□ RT obj.

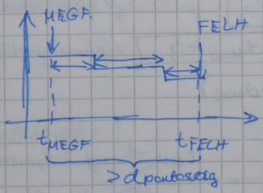
Diszkrét és folytonos RT változók

pl. garánciás



$$hiba(t) = \frac{d\sigma(t)}{dt} \left[C(t_{felh}) - C(t_{megfigyelt}) \right]$$

$$|hiba|_{MAX} = \max \left| \frac{d\sigma(t)}{dt} \right| \cdot d_{pontosság} \leq d_{pontosság}$$



$$t_{FELH} - t_{MEGF} = WCET_{\text{kezelés}} + WCOMM +$$

$$WCET_{\text{vétel}} \geq d_{pontosság}$$

Modell alapú megközelítés: ...

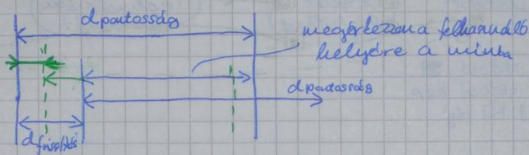
Modell-alapú megközelítés:

$$\sigma(t_{\text{FELH}}) \cong \sigma(t_{\text{MEGF}}) + (t_{\text{FELH}} - t_{\text{MEGF}}) \cdot \left. \frac{d\sigma(t)}{dt} \right|_{t_{\text{MEGF}}}$$

$$x(n+1) = A \cdot x(n)$$

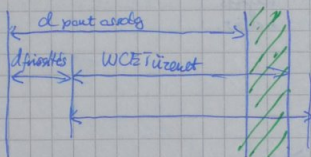
Egy periodikusan frissített RT lép parametrikus vagy fazisérzékenlen:

$$d_{\text{pontosdóg}} > (d_{\text{frissítés}} + \text{WCET}_{\text{üzemelt torobbítás}})$$

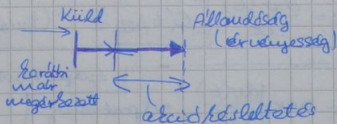


Egy periodikusan frissített RT lép fazisérzékeny:

$$\text{WCET}_{\text{üzemelt torobbítás}} < d_{\text{pontosdóg}} < (d_{\text{frissítés}} + \text{WCET}_{\text{üzemelt torobbítás}})$$



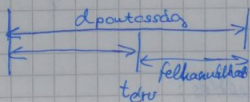
Allandóság/permanencia:



$$t_{\text{érv}} = t_{\text{küld}} + \boxed{d_{\text{MAX}} + 2g_e} \quad // \text{ globális érv érvé}$$

$$t_{\text{érv}} = t_{\text{küld}} + \boxed{2d_{\text{MAX}} - d_{\text{MIN}} + g_e} \quad // \text{ újras globális érv}$$

$$? \quad t_{\text{érv}} + (d_{\text{MAX}} - d_{\text{MIN}})$$



$$t_{\text{érv}} - t_{\text{MEGF}} > d_{\text{pontosdóg}}$$

Allapotbeállítás

Idempotencia: Egy üzenet többször elküldésre kerül
 → továbbra is egy üzenet

- állapot $45^\circ, 45^\circ, 45^\circ \Rightarrow 45^\circ$
- esemény $+5^\circ, +5^\circ, +5^\circ \Rightarrow +15^\circ?$
 $(+5^\circ?)$

Replikátum determinizmus



Azonos RAM állapot \Rightarrow azonos output
 legfeljebb kis időbeszűrés

Példa: 3 csatornás repulásiirányító rendszer (3-ból 2) szavazás

Csatorna	Döntés	Akción	
CH1	felfüggetlés	gyorsítás	} hibátlan, de nem determinisztikus } replikátum
CH2	megállás	motor "ki"	
CH3	megállás	gyorsítás	"A hibás csatorna nyel"

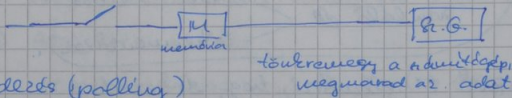
lióds

- Okok: - nem azonos bemenetek
 - időbeni eltérés a hirtudatolásnál
 - megmatatásos ütemezés
 - nem determinisztikus nyelvi felajánlások
 (pl. SELECT ADA-ban)

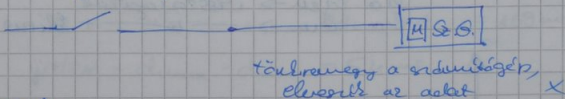
Input-Output

- idő kettős serepe - adat \rightarrow időköz
 \ vésztés
- megegyezés protokollok
 nyers adat
 márt adat
 megegyezett

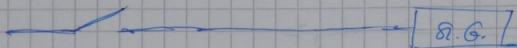
Mintavételzés (sampling)



Kérdés (polling)



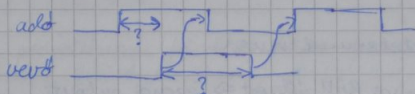
Idempot:



6. VALÓS IDEJŰ KOMMUNIKÁCIÓ

Követelmények:

- Kis protokoll késleltetés (Protocol latency, handley, kapcsolás, elrejteltség)
- Kétvezetékös handshake \Rightarrow animáción



- Kompatibilitás

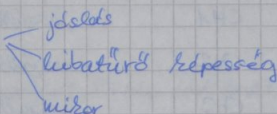


Communication Network Interface

"plug-and-play"

- Flexibilitás

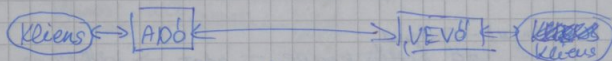
- Hibakezelés



- Fizikai struktúra

Forgalom szabályozás (Flow control) $\left\{ \begin{array}{l} \text{Explicit} \\ \text{Implicit} \end{array} \right.$

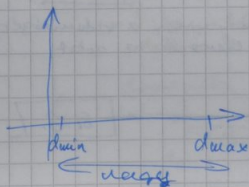
PAR: (Positive Acknowledgement or Retransmission)



- ADÓ (1) időzítő $\rightarrow \emptyset$
 (2) time-out indult
 (3) üzenet érkez
 (4) visszakapcsolás fogad
 (5) értesít a kliens

Ha nincs visszakapcsolás time-outon belül
 időzítő el. $\left\{ \begin{array}{l} \text{betelt} \rightarrow \text{hiba} \\ \text{inkrementálás} \end{array} \right.$

- VEVŐ (1) ellenőriz, hogy érkezett-e:
 ha igen \rightarrow visszakapcsol
 ha nem \rightarrow "u" + kliens értesítés



PAR összefoglalás:

- 1) adó oldalon kúros kódolással
- 2) a vevő jogosult kiegészítései
- 3) hibát az adó detektálja
- 4) hibajavítás időbeni redundanciával

Megjegyzés: 1) csatorna jellemzők: sávszélesség
10 Kbit/s - 1 Mbit/s
autóban, rézvez.
1 Gbit/s üvegátl.

2) Terjedési idő: 300000 km/s
réz 200.000 km/s
1 láb/ns
1 km \rightarrow 5 μ s

Jellemzők: • Csatorna bitsebesség - terjedési késleltetés alatt
hány bit jut át

pl.: 100 Mbit/s, 200m \Rightarrow bit sebesség (bit length)

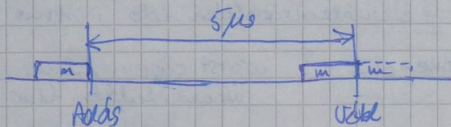
bl: 100, terjedési késleltetés: 1 μ s

• Protokoll hatékonyság

adat hatékonyság: $\frac{m}{m+bl}$ - üzenet hossz
- csat. bitsebesség

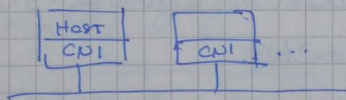
pl.: 1 km hossz, 100 Mbit/s, $m = 100$ bit

adat hatékonyság: $\frac{100}{100+500} \approx 16,6\%$



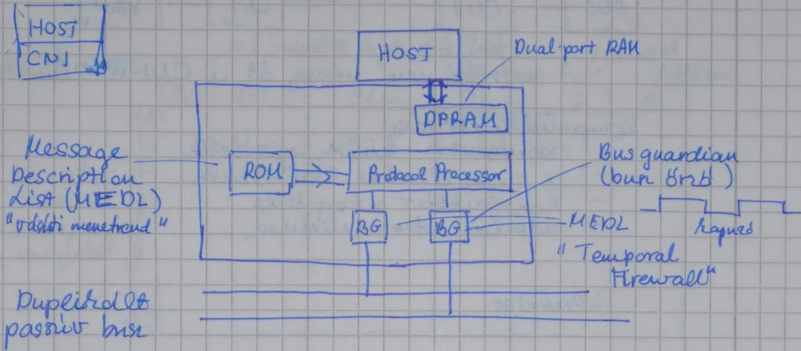
Forgalomszabályzás: implicit módon \rightarrow TT

Terjedési időben \Rightarrow "osztási menetrend"



Time-triggered Architecture (TTA)

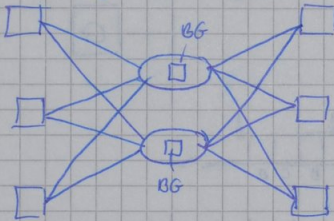
→ Globális időalapú háló → vezérlés



Bitátszódefinitívus rendszerek

- Dependability... hibátűrés
- Fail-Silent
- Fail-Operational

Csillag topológia



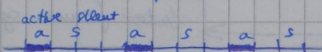
Repülőgépipar: TTA

Autóipar: Flexray

→ Hibadetektálás: uvo' dolga

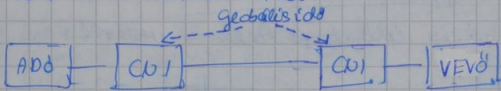
→ Hibátűrés: aktív redundancia

Ritka időalap



kommunikáció csak megadott időközben engedélyezett

Adó adata CNI-be "Push"
 Vevő adata CNI-ből "Pull"

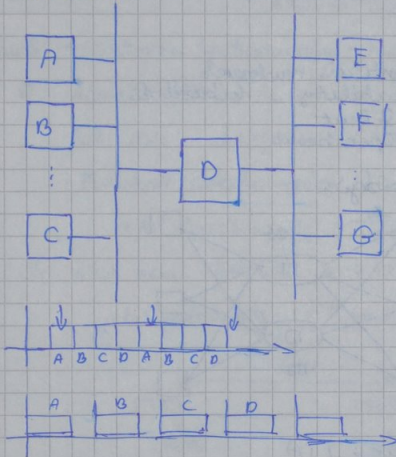


A vezérlés nem megy át a CNI-n => hibaterjedés..

Komponálhatóság:

- csúcspontok könnyen fejleszthetők
- a megoldások stabilitása
- konstans intenzitás
- megoldat determinizmusa

Klaszter

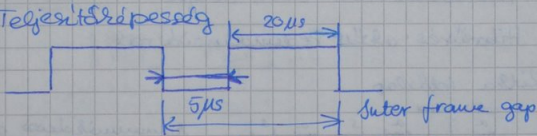


TDMA round
 Cluster round

5-240 byte üzemi

MEVDL

Teljesítményesség



örök
 Megf.: < 1 μs

80%-os sûrselesség

40.000 üzemi/s

$$40.000 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 1$$

10 csandpontos
 rendszer

250 μs → 4 kbit/mintaértékelési
 idő

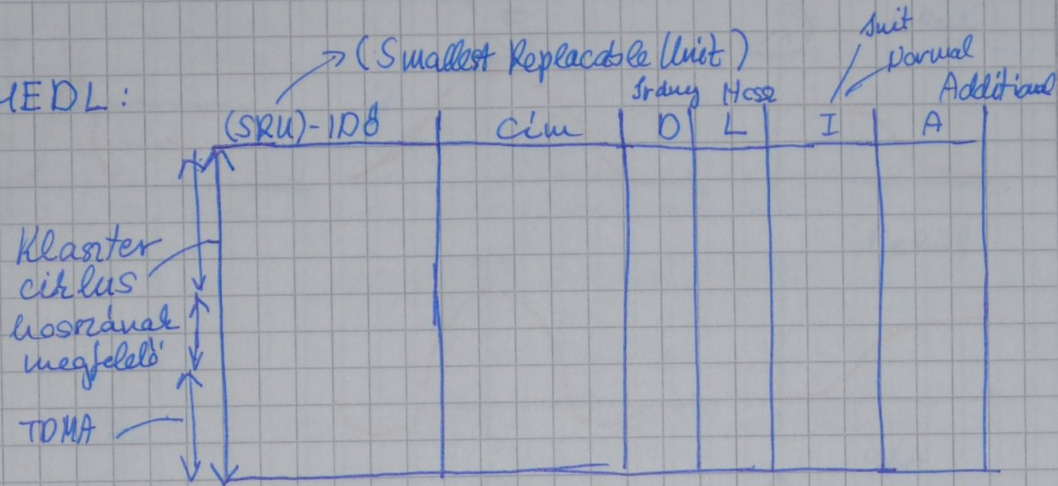
5 Mbit \rightarrow 12 byte (100)

$$5 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 100 \text{ bit}$$

1 Gbit \rightarrow 200 \cdot 12 byte = 2400 byte

$$1 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^4 \text{ bit}$$

HEDL:



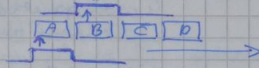
6. (RT)-KOMMUNIKÁCIÓ

- Explicit forgalom szabályozás:

PAR: d_{min} } d_{max} } jitter = $d_{max} - d_{min} \Rightarrow$ abszolút késleltetés hosszá-
hibadateltávolítás később!

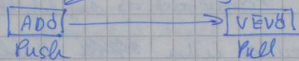
- Implicit forgalom szabályozás:

TTA + biztonságfenntartás: „Tasíti menetrend”

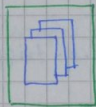


vezérlés típusú információ \rightarrow korlátozott

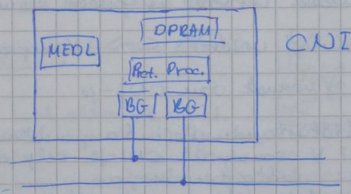
\hookrightarrow pl. globális óra



költség problémák ~~és~~ aktív redundancia kell



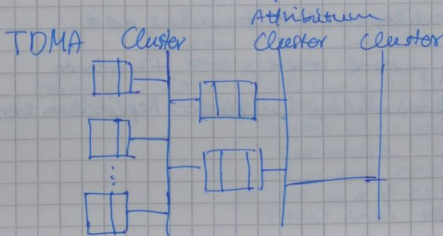
FTU: Fault-Tolerant Unit



MEMO:

TDMA / ILL. CLUSTER / ROW/ID

IdB	Clus	I	H	I	A



Megjegyzések

① Hibaállapotok

Fail-safe "Hibabiztos"
Fail-operational "Hiba működőképes"

Egy-hiba \Rightarrow tilélés
 \Rightarrow visszatérés adott időn belül

- Kontrollálatlan hiba "Fail-uncontrolled"
4 csomópontból álló FTU hálj (bizánci típusú hiba ellen)
- Konzisztens hiba "Fail-consistent"
3 csomópontos FTU-val kezelhető (3-ból 2 szavazással megállapítható)
- Korlátozott hiba "Fail-restraint"
2 csomópont \Rightarrow duplikált
- Csendes hiba ~~széles~~ "Fail-silent"
tudja, hogy hibás, ezért nem mond semmit
2 csomópont \Rightarrow duplikált

TTP/C
TTP/A

Time-triggered protocol

② Protokoll tervezés alapvető szempontjai/konfliktusai

- Külső vezérlés \leftrightarrow Komponálhatóság

\vee hostnak van CNI-je

Időtartománybeli komponálhatóság követelményei

(1) \vee csomópont CNI-je teljesen specifikált az időtartományban

(2) Integrálás egy meglévő rendszerre nem változtatja a CNI-k tulajdonságait

(3) \vee host a CNI-től függetlenül kezelhető

- Flexibilitás \leftrightarrow Hiba detektálás

- Sporadikus adat \leftrightarrow Fenntartás adat

- Egy pontból vezérlés \leftrightarrow Hibajelzés

- Változtatási hozzáférés \leftrightarrow Replikátum determinizmusa

TTA \Rightarrow CNI \Rightarrow DPRAM

Dual-port RAM



- státusz
- kontroll
- adatok

Státusz reg. (TTP verzió⁴ lejta)

- Controller állapot C-state
- Globális belső óra/idd \Rightarrow Cluster idd (2byte)
 - SRU-idd \Rightarrow SRU: Smallest Replacable Unit
 - MEDL pointer
 - Tagsági vektor csp. \uparrow működik / \uparrow nem működik
 - Státusz inf.

Kontroll regiszterel (Host lejta)

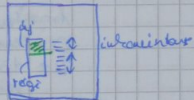
- Watchdog \rightarrow host indítja periodikusan
- Time-out regiszter \rightarrow IT-E okok a kontroll
- Üzemmodul váltottatás kérelm
- Ujra konfigurálás
- Külső idd korrekció \rightarrow óraszinkronizáció

nem csak adatra
 \rightarrow Adat + C-state

Keret: FEJLEC | ADAT (16 byte) | 16/24 bites CRC |
I/O; MODE1, MODE2, MODE3

Szinkronizáció, ha host: ET \Leftrightarrow TT

- Non-blocking Write Protocol (NBW)



ET host csak akkor deradhat,
ha a blokkt tartalmazó leosztens

Concurrency Control Field (CCF) \Rightarrow hardver
+ atomikus

Initializálás: CCF := \emptyset

Írás: START: CCF_{old} := CCF;
CCF := CCF_{old} + 1;
<Írás>
CCF := CCF_{old} + 2;

CCF páros \rightarrow leosztens adat
páratlan \rightarrow inverzintens

Olvasás: START: CCF_{begin} := CCF;
IF CCF_{begin} = odd
THEN GOTO START
<Olvasás>
CCF_{end} := CCF
IF CCF_{end} \neq CCF_{begin}
THEN GOTO ~~START~~ START

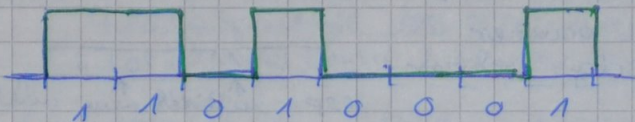
Leggyorsabb: fizikai szint kódjai



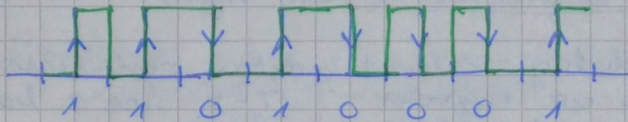
Aszinkron UART: 10^{-2} sec/sec

Szinkron:

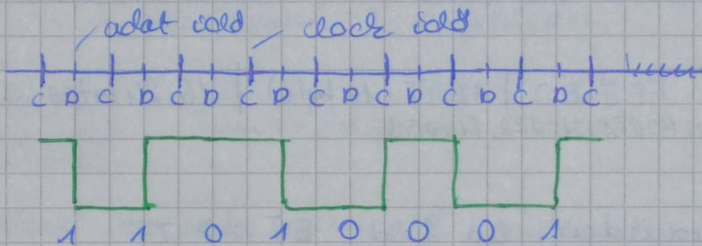
① NRZ (Not-Return-To-Zero)



② Manchester kód



③ Modified Frequency Modulation Code



1 - átmenet

0 - nincs átmenet

Ha több 0 van egymás után, átmenet C időben szinkronizációs céljából

7. BEGYEZOTT RENDSZEREK SZOFTVER ARCHITEKTÚRAI

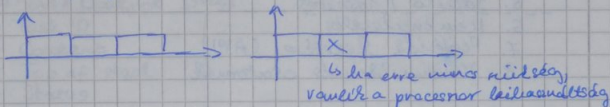
- Parhuzamos futtatási környezet \rightarrow valós idejű működés (2. ÜTEMEZÉS)
 - határidő (biztonságkritikus rendszerek követelménye)
- Férőlköző követelmény:
 - "écszi", "egyszerű", ...
 - inkrementális fejlesztés eszései

Meg: "Rádó"

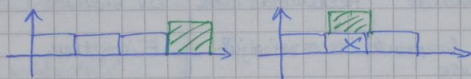
- egyszerű verb, az adó a környezet

Fegyver

① Célkikus programstervezés



② Megaralításokkal kiegszített célkikus



③ Ütemezett függvényekkel szervezett program

\rightarrow ~~RTOS~~ TinyOS

④ "RTOS" \rightarrow Futtatósrendszer \rightarrow Kernel \rightarrow μ Kernel

RTOS \rightarrow Bedgyezett OS \rightarrow BIR OS

- parhuzamos környezet
- Tarek ütemezése / futtatás

Szélszűndlet:

Tarek: vmi nagyobb részfeladat

Job: vmi kisebb

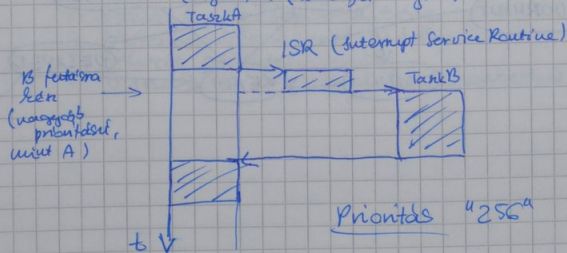
"Modellkés"

\Rightarrow Process (folyamat)

\Rightarrow Thread (szál)

megaralítás

Interrupt \rightarrow jelzés \rightarrow tarek futtatható (signal) \rightarrow (wait for signal)



- Ar:
- ① Op. rendsz. processor idő igénye...
 - ② Op. rendsz. kód mérete...
 - ③ Op. rendsz. változások...
 - ④ Op. rendsz. rész modulok
 - ⑤ Op. rendsz. termék költsége

RTOS: Feladatai

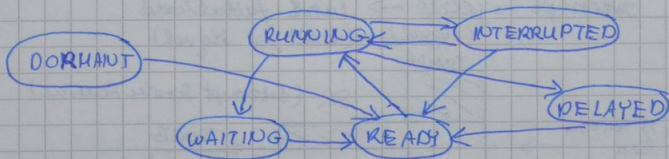
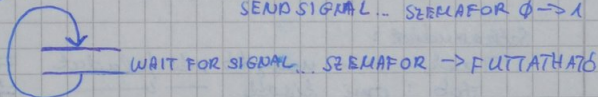
LEJÁR

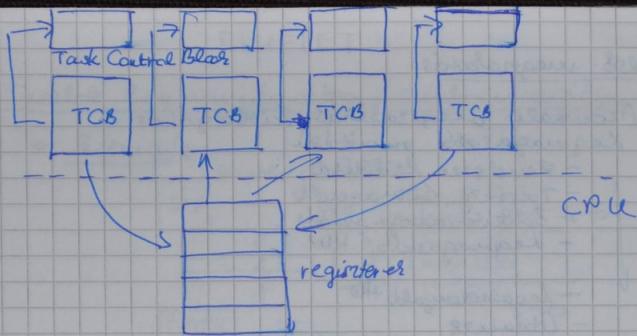
1. Párnyozomas környezet, taszoló feltreholása, kezelése
2. Ütemezés
3. Taszoló között kommunikáció
4. Készletelés kezelése
5. Időzítő / Időzítés
6. Memória kezelés
7. Periferik kezelés (API)
8. Kommunikációs csatlakozás

	BIR OS	Asztali OS
Rendszerindulás	Alkalmazás indol	OS indol
Program komponens nemvezése	összeszemestjűz	Független
Védelem	Nem kizárólagos érdekes	70% fejlett
Skálálhatóság	Nagy mértékű	Minimális

Taszoló állapotai

- Végtelen huror

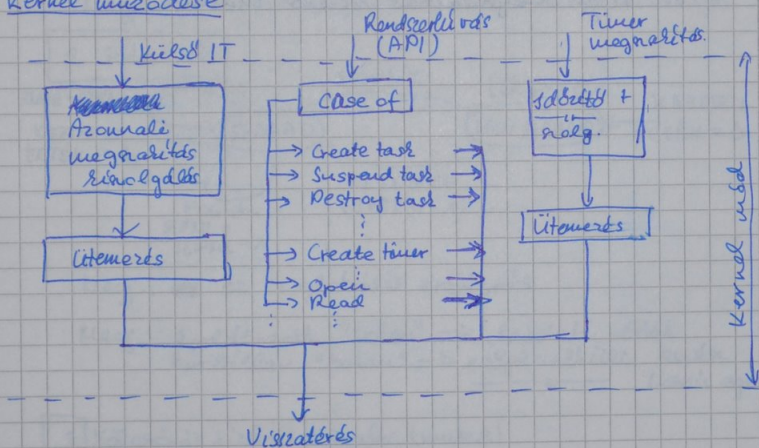




TCB: Task Control Block

- Task ID
- Context
- Top of stack
- Status
- Synder
- Time usage info
- Other

Kernel működés



Rendszerlévások

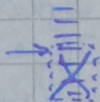
1. Tazk Kontextus mentése
2. A kápcsolás kernel módba.
3. Mivás végrehajtása
4. Vizterés → User módb + Kontextus vissza

Külső megvárakozás:

1. Azonnali megvárakozás kinyolgdás legmagasabb prioritási
 - Rendszer ledállás
 - Tápfesz kikapcsolás
 - Időítő megvárakozás
 - Legmagasabb HW
 - Legalacsonyabb HW
 - Ütemezés
 - Legmagasabb társ
 - Legalacsonyabb társ

Interrupt latency:

1. Proc. utolsó utasítás befolyezése
2. Megvárakozás tillás ideje
3. Magas prioritási megvárakozások kinyolgdási ideje
4. Megvárakozott társ kontextus uentes
5. Megf. megvárakozás keresé indítása

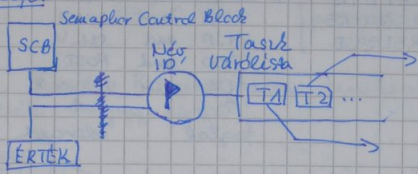


ELMÉLET

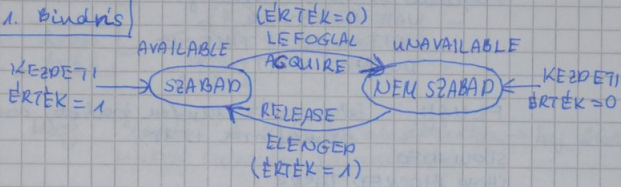
2016.
04.01.
Beigazolt
információs
rendszer

Taszk kommunikációja / szinkronizációja

I. * Semafor



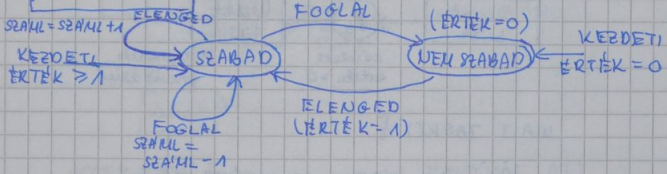
1. Bináris



Létrerohasztkor szabad vagy nem szabad

Megj.: globális erőforrás, bárki felhasználhatja

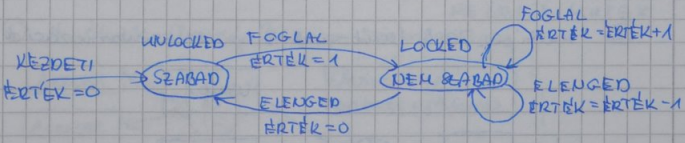
2. Számláló



Megj.: ez is globális erőforrás

Megj.: korlátozott "token" → kezdeti érték
korlátlan "token" → előjel nélküli egész
vagy
vagy
vagy

3. Kölcsonös zárdás semafor (mutex)



Megj.: ① Mutex tulajdonság (ownership)
→ minden taszk nem tudja ellopni
② Rekurzív mutex implementáció

Szemafor műveletek

CREATE binarys, counting, mutex
DELETE ID megadása, csak szabad törlhető
ACQUIRE } TAKE and GIVE
RELEASE } SH_P and SH_V
 } PEND and POST
 } LOCK and UNLOCK
 ↑ ↑
 foglal elenged

Foglalds következmény:

- WAIT FOREVER
- WAIT WITH A TIMEOUT
- DO NOT WAIT

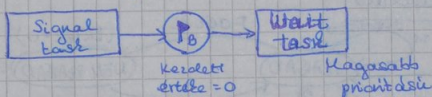
FLUSH felszabadít minden taskot, amely szemaforra vár.

SHOW IDFO

SHOW BLOCKED TASKS

Tipikus szemafor használat

① "wait-and-signal" szinkronizáció



WAIT TASK() {

... Acquire binary semaphore token

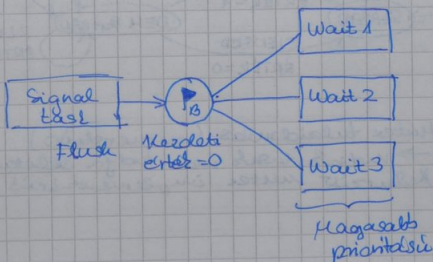
}

SIGNAL TASK() {

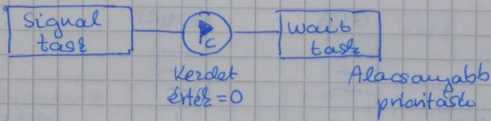
... Release binary semaphore token

}

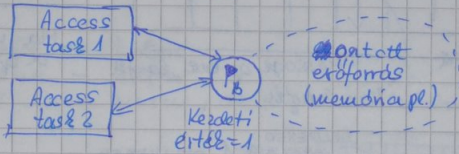
② Multiple Task Wait-and-Signal szinkronizáció



③ Credit-tracking szinkronizáció

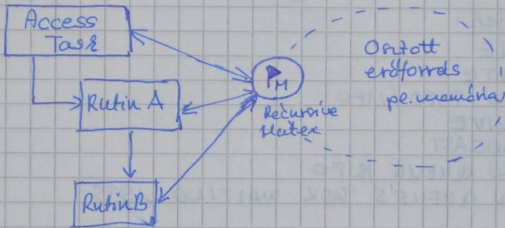


④ Single Shared-Resource-Access szinkronizáció (egyszer leggyakrabban)



Megj.: "Gébdélis" → bdieli felszabadíthatja → kaj lehet mutex szemafor járassalható

⑤ Recursive Shared-Resource-Access szinkronizáció | Rekurzív mutex



ACCESS TASK()

ACQUIRE MUTEX
ACCESS SHARED RESOURCE
CALL ROUTINE A
RELEASE MUTEX

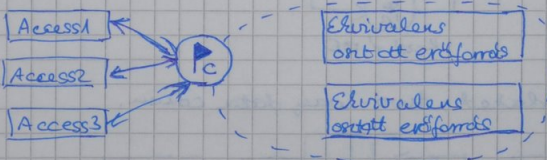
ROUTINE A()

ACQUIRE MUTEX
ACCESS SHARED RESOURCE
CALL ROUTINE B
RELEASE MUTEX

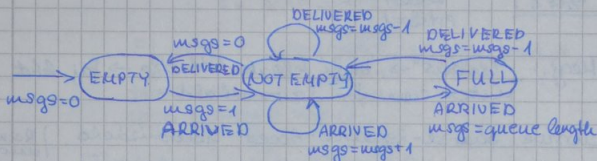
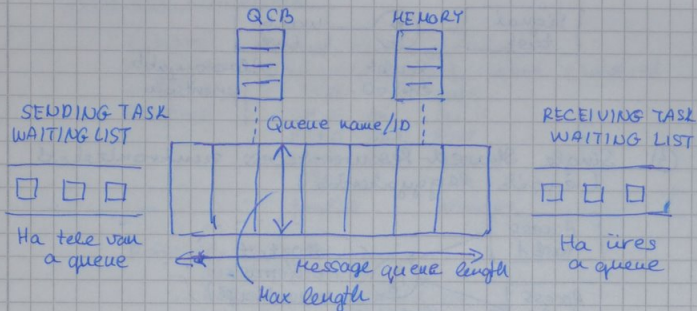
ROUTINE B()

ACQUIRE MUTEX
ACCESS SHARED RESOURCE
RELEASE MUTEX

⑥ Multiple Shared-Resource szinkronizáció



II. Message Queue → Pipeline ≠ Pipe

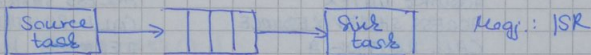


Műveletek:

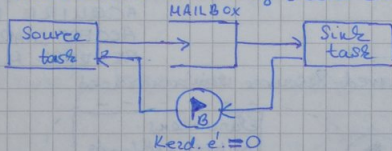
- CREATE
- DELETE
- SEND FIFO/LIFO
- RECEIVE
- BROADCAST
- SHOW QUEUE INFO
- SHOW QUEUE'S TASK WAITING LISTS

Hasznalat:

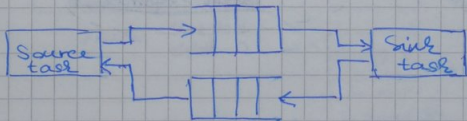
- ① Non-interlocked, one-way data comm.



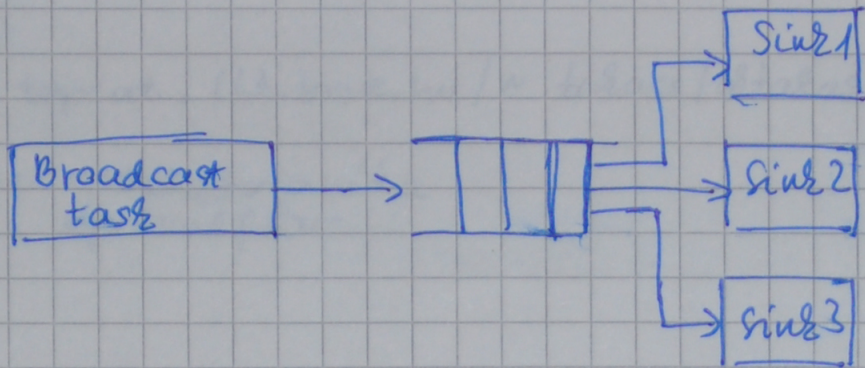
- ② Interlocked one-way data comm. (handshake)



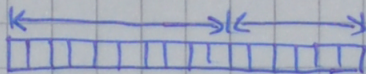
- ③ Interlocked, two-way data comm.



④ Broadcast data comm.



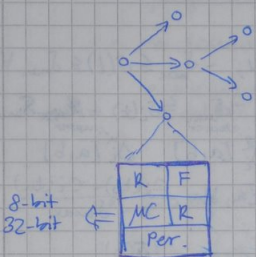
- Semaphore - token
- Queue - buffer
- Pipe ... - queue, de structurată la care adătează



- Esemény regiszter
TCB ...
- Software IT: signal, events

8. ESETTANULMÁNYOK

8.1. SZENZORHÁLÓZATOK



Táplálás: - telepes } power aware
- napellen

- Rádió ! → ritkán, rövid időre működjen

Berkeley mote
Mikrotik



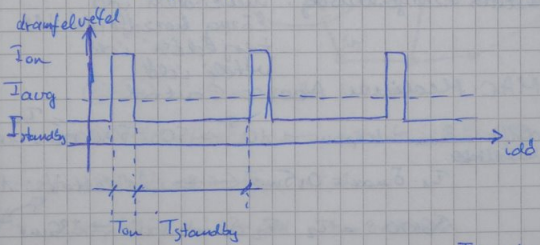
2x AA
bateriák

→ Sokkal kisebb
"Smart dust"

- Időszinkronizáció
- Kommunikáció
- TinyOS
- Power Aware

Példa:

2x AA (3000mAh)
üzemidő: 1 év (8760 óra)
 $P_{on} = 150mW$ ($I_{on} = 50\mu A$)
 $I_{standby} = 50\mu A$

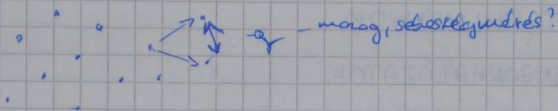


$$I_{avg} = I_{on} \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{standby}} + I_{standby} \frac{T_{standby}}{T_{on} + T_{standby}}$$

$$I_{avg} = I_{on} \lambda + I_{standby} (1 - \lambda) \quad \frac{I_{avg} - I_{standby}}{I_{on} - I_{standby}} = \lambda$$

$$I_{avg} = \frac{3000mAh}{8760h} = 342\mu A ; \quad \lambda \approx 8\% \text{ / nap}$$

Számítások vezeték nélküli hálókörben



Modell: $t_a \Rightarrow C_i(t_a)$

- Korlátozott drift: $\delta(t) = \frac{dC(t)}{dt} - 1$; $-\delta_{\max} \leq \delta(t) \leq \delta_{\max} \forall t$

Ha két esemény: a és $b \Rightarrow t_a < t_b$; $-\delta_{\max}^{\text{alacsony}} \leq \delta_i(t) \leq \delta_{\max}^{\text{magas}}$

$\Delta[a, b] = t_b - t_a$ alsó és felső: $\delta_i^l[a, b]$, $\delta_i^u[a, b]$

$$\delta_i^l[a, b] = \frac{C_i(t_b) - C_i(t_a)}{1 + \delta_{\max}}, \quad \delta_i^u[a, b] = \frac{C_i(t_b) - C_i(t_a)}{1 - \delta_{\max}}$$

- Korlátozott drift-változás modell: $\vartheta(t) = \frac{d\delta(t)}{dt}$;

$$-\vartheta_{\max} \leq \vartheta(t) \leq \vartheta_{\max} \quad \left\{ \begin{array}{l} - \text{köndrségt} \\ - \text{talpferz.} \end{array} \right.$$

- Szoftver óra: $\text{soft}(C(t)) = t_0 + C(t) - C(t_0)$

Kommunikációs modellek

- Unicast, multicast, broadcast
- Szimmetrikus, aszimmetrikus, piggy-back
- Implicit, explicit, piggy-back
- Részeltetés bizonytalanság: működési idő
Érzékelési idő
terjedési idő
vételi idő

MAC: Medium Access Control

Példák:

- drift: $\delta_{\max} = 10 \text{ ppm} = 10^{-5} \rightarrow 50 \text{ s} = 50.000 \mu\text{s}$ ezeken
- részeltetés.

$$\tau_1 \cdot \delta_{\max} = 0,5 \text{ ms} \longleftrightarrow \text{részeltetés: } 1 \mu\text{s}$$

$$3600 \text{ s} = \tau_2 \quad \tau_2 \cdot \delta_{\max} = 36 \mu\text{s} \Rightarrow \pm 36 \mu\text{s} \rightarrow \tau_2 \text{ms}$$

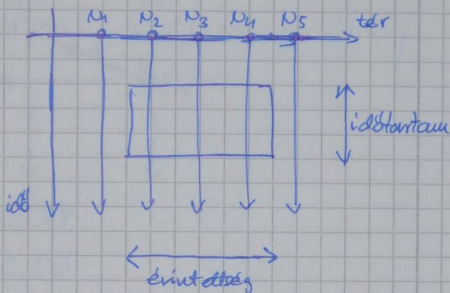
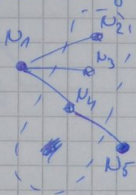
Sinkronizáció fajtái:

- külső, belső ✓
- időtartam / élettartam / életciklus (lifetime):
 - folytonos \Rightarrow mindig dllyon fev
 - on demand / kérésre

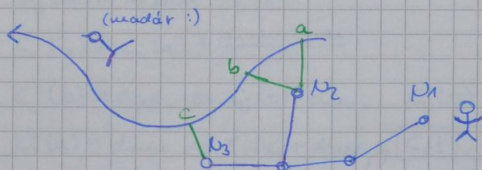
eseményvezérelt:
post-facto synchr.

idővezérelt:
① közvetlen (immediate)
② előzetesen megadott
(pre-facto synchr.)

* érintettség



- ütem \leftrightarrow offset sinkronizáció



(a)-(b) ütem szinkr. N2-ben

(b)-(c) offset - u N2 és N3 között

- időskála \leftrightarrow óra szinkr.

- időpillanat \leftrightarrow idő intervallum

$t = 5$
+ valószínűség

$t \in [4,5, 5,5]$



ELMÉLET

2010.
04. 08.
Bérgyászti
információs
rendszer

8. ESETTANULMÁNYOK

8.1. SZENZORHÁLÓZATOK

- AA telep \Rightarrow ...

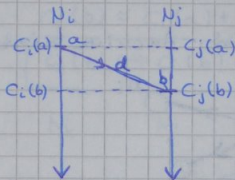
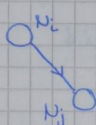
- Szoinkronizáció (szél csomópont)

- "Modell"

- Szoinkronizációs fajtái

\downarrow Szoinkronizációs technikák

① Egy minta vétele alapján



$$C_j(a) < C_j(b)$$

$$C_i(a) < C_i(b)$$

$$d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$$

$$C_j(a) \approx C_j(b) - \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2}$$

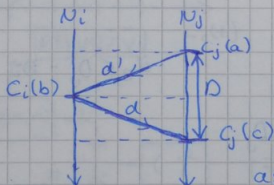
$$C_i(b) \approx C_i(a) + \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2}$$

$$C_j(b) - d_{\max} \text{ és } C_j(b) - d_{\min} \quad C_j(a) - \text{ra}$$

$$C_i(a) + d_{\min} \text{ és } C_i(a) + d_{\max} \quad \boxed{C_i(b) - \text{re}}$$

$$\boxed{C_j(b)}$$

②



Oda-vissza körút. (Round-trip)

$$0 < d < D$$

$$d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$$

aszimmetrikus

$$\left. \begin{array}{l} \max(D - d_{\max}, d_{\min}) \\ \max(d_{\max}, D - d_{\min}) \end{array} \right\} \boxed{d \text{ korlátjai}}$$

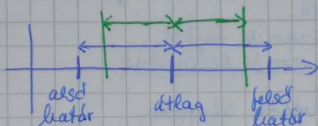
$$C_j(b) = C_j(c) - \frac{D}{2} \quad \left\{ \begin{array}{l} C_j(c) - (D - d_{\min}) \\ C_j(c) - d_{\min} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{alsó} \\ \text{felső} \end{array} \right\} \text{határ}$$

Valószínűségi időszinkronizáció

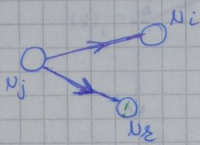
Worst-case kommunikációs leiba:

$$\boxed{D/2 - d_{min}} < \text{specifikált késés}$$

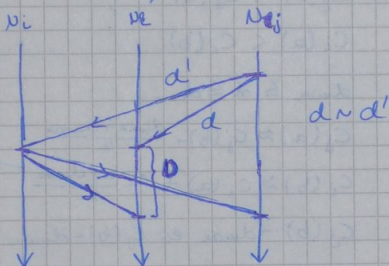
$$C_j(c) - d_{min} - C_j(c) + \frac{D}{2} = \frac{D}{2} - d_{min}$$



3. Kombináció: Anonim szinkronizáció

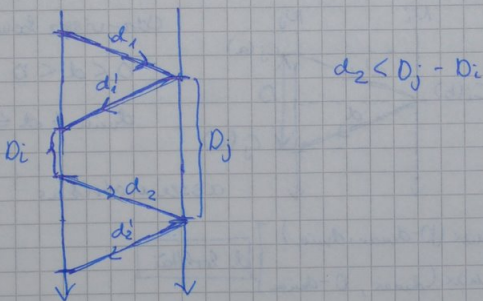


nem kell kommunikálni, (hiddős) csak üzenet kap



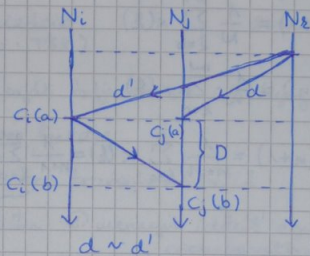
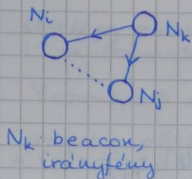
4. Módosított körutazás (round-trip)

D_i D_j szimmetrikus



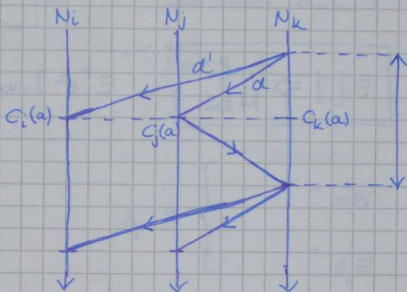
$$D_2 < D_j - D_i$$

5. Referencia broadcasting (RBS)

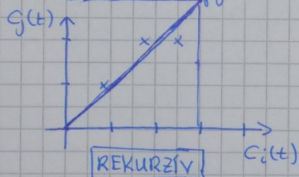


$$C_i(b) \approx C_i(a) + D$$

$$C_j(b) \leftrightarrow C_i(b)$$

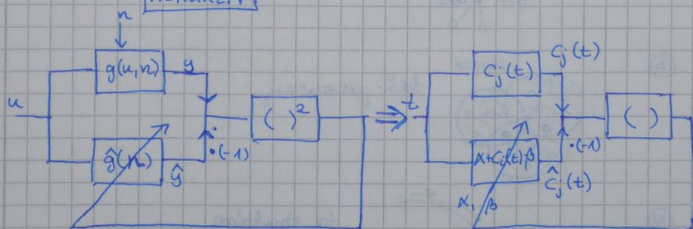


Több minta alapján



$$\hat{C}_j(t) = \alpha + \beta C_i(t)$$

C_j driftje C_i -re vonatkoztatva



α, β

$$E[C_j(t_2) - \alpha - \beta C_i(t_2)]^2$$

$$e = C_j(t) - \hat{C}_j(t)$$

Ättagpläs $n, n+1, \dots$

$$y(N) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k)$$

$$y(n) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x(k)$$

$$y(n+1) = \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n x(k) = \frac{1}{n+1} \underbrace{\sum_{k=0}^{n-1} x(k)}_{n \cdot y(n)} + \frac{1}{n+1} x(n) =$$

$$= \frac{n}{n+1} y(n) + \frac{1}{n+1} x(n) = y(n) + \frac{1}{n+1} [x(n) - y(n)]$$

korrekció

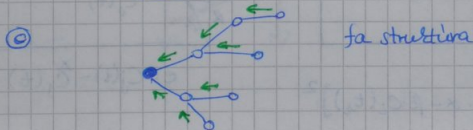
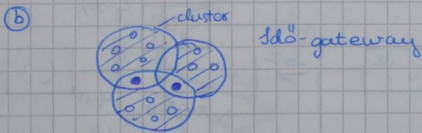
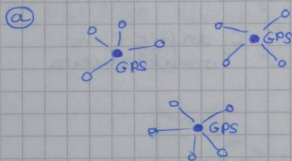
$$\begin{matrix} \uparrow \\ x^2(n) \\ x(n) - y(n) \end{matrix}$$

$$E\{ \} \Rightarrow \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1}$$

$E[e^2]$ min.

$$\left. \begin{matrix} \overline{\partial \alpha} = \\ \overline{\partial \beta} = \end{matrix} \right\} \alpha, \beta$$

Multi-hop elkerülése



fa struktúra

Példák

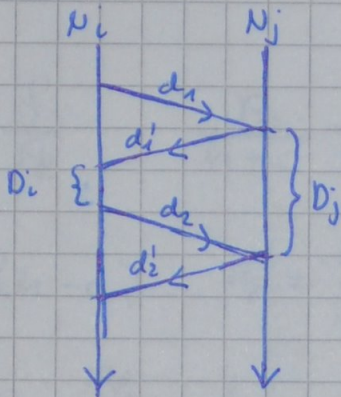
- ① Időbélyeg szinkronizáció
(Time-Stamp-Sync: TSS)

2001. okt.

✓ csomópont a saját órája szerint időbélyegez
üzenet + időbélyeg küldés

↓
saját skálára transformálódik

időbélyeg kora: ① mennyit időzik egy
csomópontban
② kommunikáció ideje



$D_j - D_i$ felső határ d_2 -re
alsó határ $d_{min}, 0$

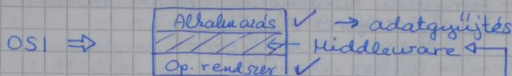
← alsó
→ felső
 δ_{max}

- ② RBS

2002. dec.

8.1. SZENZORHÁLÓZATOK

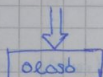
- Kommunikáció



- Alsóbb rétegek
 - fizikai réteg
 - adatkapcsolati réteg
- Útvonal meghatározás: routing...
- Lokalizáció
 - saját pozíció
 - célpont
- Idő szinkronizáció

Fizikai réteg <

- szélessávú ⇒ rövid élettartam
- kis sávszélesség ⇒ hosszabb élettartam
 - kis kitérítési tényező



- rádió frekvenciás
- akusztikus
- infravörös fény

Szabványos megoldások:

- Bluetooth
- IEEE 802.11b
- ZigBee / IEEE 802.15.4

Speciális megoldások:

- PicoRadio
- ...

Tervezési szempont:

- méret: antenna
szűrő
- alacsony pontosság
- ne legyen érzékeny
- szabványos frekvencia tartomány
- bőséges egyúttal mellett éles
- energia takarékos működés

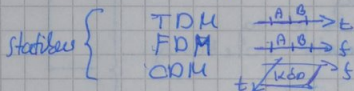
- 1514 24 GHz szűrt spektrum

- IEEE 802.11b
- Bluetooth WPAN 1Mbit/s
 - hosszú időtartam felderítés
 - zűrt spektrum
 - rossz hatékonyság
- ZigBee
 - kifejezetten kis sebességű
 - max 250 Kbit/s
 - 0,8-0,9-24 GHz szűrt spektrum

Adatkapcsolati réteg

- Keretképzés
- Hibadetektálás / javítás
- Forgalom szabályozás (flow control)
- Közeghozzáférés vezérlése
 - Media Access Protocol
 - Ütközés ellenítés

Csatorna megosztás:



dinamikus: CSMA, RTS/CTS

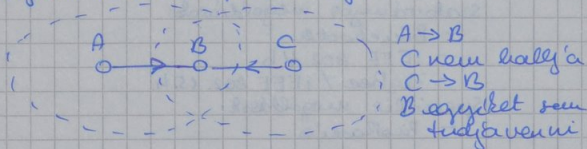
↳ Carrier Sense Multiple Access

ütközés ellenítés:

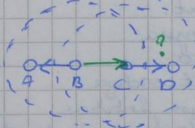
- addis előtt beleválgat
 - ha nem érzékel \rightarrow ad
 - ha érzékel várakozás (pl. várakozni ideig)

CSMA problémák:

- Rejtett terminál problémája



- Káthlató terminál problémája



CSMA megoldások:

- CSMA foglalt jelzéssel
 - két csatorna:
 - adat
 - foglaltság
 - vevő a foglaltság csatornába folyamatosan jelez
 - addis előtt ellenőriz
 - adatcsat.
 - fogl.csat.

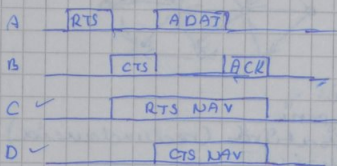
- RTS / CTS (Request to send / Clear to send)

- Megj.: IEEE 802.11 (WLAN)
- két fázis:
 - handshake
 - adattovábbítás
- alap gondolat: ütközés a vezeték
- létező a rejtett terminál problémát
- látrány: overhead
- hasznabb üzenetek esetén jó



1. Adó RTS üzenetet küld
2. Vevő CTS üzenetet küld
3. Adó CTS vétel után ad

RTS, CTS tartalmazza az adás hosszát



NAV: Network Allocation Vector

Ütvenyelés:

- Ad-hoc:
 - csomópontok elhelyezése véletlen
 - linket véletlenszerűen jönnek létre
 - linket nem megbízhatóak (fading)
 - lehet mobil csomópont
 - nagy számú csomópont
- Fajtái
 - egy forrás → sok cél
 - sok forrás → egy cél
 - egy forrás → egy cél
- Adathelyezés modellei:
 - idővezérelt
 - energiatakarékos működés igénye esetén előnyös
 - eseményvezérelt
 - lekérdezős
- Hálózat struktúrák
 - flat
 - egyenrangú csomópontok, teljesen szimmetrikus
 - hierarchikus

- Hálózati struktúrák

- Flat

- egyszerűen csomópontok
- nemzeti skálájú

- Hierarchikus

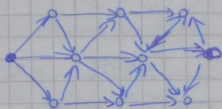
- csoportok (cluster)
- csoporton belüli
- csoportok közötti

Verék csoport szinten
- heterogén..., kiemelt képességgel
- homogén / divanikus

Flat: ① elárasztásos → flooding → flood routing

broadcast: ① üzenet első vetésével a vevő megjelözi az üzenetet (v. azonosítóját)

egy → sok



előnyei:

- egyszerű
- hibátűrő (redundancia)

hátrányai:

- sok (felesleges) üzenet
- energiafogyasztás
- ütközések (rejtett terminál)

modosított sok:

- túl sok üzenet:
 - nem kell mindent továbbítani
 - vevő csak p valószínűséggel terjeszt tovább
 - $p = ?$ topológiafüggő (transzparensz)
- ütközések
 - nem azonnal továbbított
 - véletlen várakozás

② gradiens-alapú routing (GR)

három fázis:

1. keres
2. gradiens mérték
3. adatrelgátlás

sok → egy

adatgyűjtés



GBR változatos:

- hogyan valósítjuk vissza a "visszavertő" útvonalat?
 - ortochasitikus
 - stream alapú
 - energia alapú
 - kis energidíj megemelési a
gradiensét \Rightarrow forgalom
átterelése

Hierarchikus routing

- LEACH

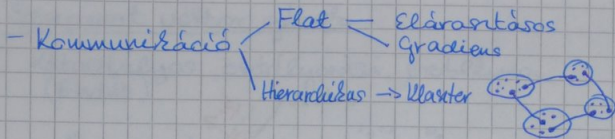
Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

- GEAR

Geographic and Energy Aware Routing

ELMÉLET

2010.
Ok. 15.
Beágyazott
információs
rendszerrel



LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Feltételezések:

- Periodikus adatgyűjtés
- Korrelált adatok
- Csomópontoként térerősség állítható
- \forall csomópont tud adni a központnak
TMA, CSMA

Allapotok:

- setup
- steady state



GEAR



Operációs rendszerek

- BIR OS: taskok
párhuzamos környezet

Alt.

Middle.

OS

- Tiny OS Berkeley

- komponens alapú
- eseményvezérelt

(PZH) május 13-án, 10¹⁵ → Nincs előadás

8. ESETTANULMÁNYOK

8.1. SZENZOR HÁLÓZATOK

- Idősinkronizáció
- Kommunikáció
- Op. rendr. TINYOS

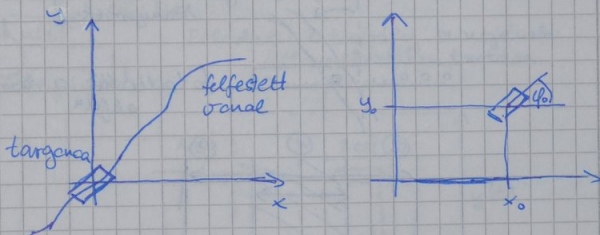
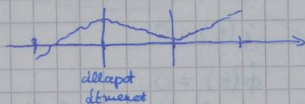
sol, his "teljesítményű" eszköz
 globál megvalósítóság his tápüzem
 robusztuság

8.2. EGYSZERŰEN IMPLEMENTÁLHATÓ MEGOLDÁSOK

- Tervezési fázis
- Suplementáris fázis

5. fejezet kiegészítése \Rightarrow mennyiség / változó

1. PÉLDA: Hibrid rendszer - állapotgép (FSM)
 + folytonos rendszer
- Folytonos rendszerek működtetése



$$0 \leq v(t) \leq 10 \text{ mph}$$

$$-\pi \leq \omega(t) \leq \pi \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$(x(t), y(t))$$

$$\phi(t) \quad [-\pi, \pi]$$

$$\dot{x}(t) = v(t) \cos \phi(t)$$

$$\dot{y}(t) = v(t) \sin \phi(t)$$

$$\dot{\phi}(t) = \omega(t)$$

4 mozgásforma: balra, jobbra, egyenesen, megállás

Egyenesen: $\dot{x}(t) = 10 \cos \phi(t)$

$\dot{y}(t) = 10 \sin \phi(t)$

$\dot{\phi}(t) = 0$

Balra: $\dot{x}(t) = 10 \cos \phi(t)$

$\dot{y}(t) = 10 \sin \phi(t)$

$\dot{\phi}(t) = \pi$

Jobbra: $\dot{x}(t) = 10 \cos \phi(t)$

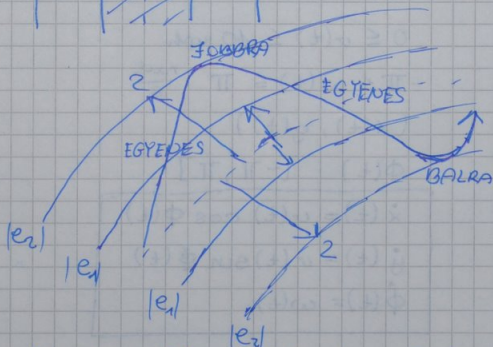
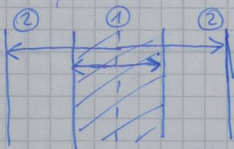
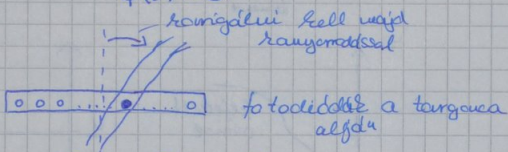
$\dot{y}(t) = 10 \sin \phi(t)$

$\dot{\phi}(t) = -\pi$

Megállás: $\dot{x}(t) = 0$

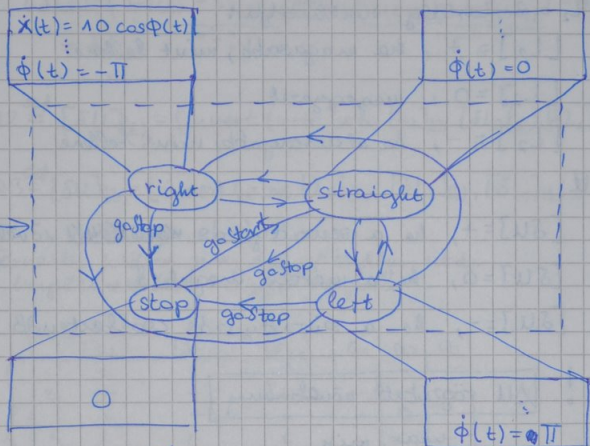
$\dot{y}(t) = 0$

$\dot{\phi}(t) = 0$



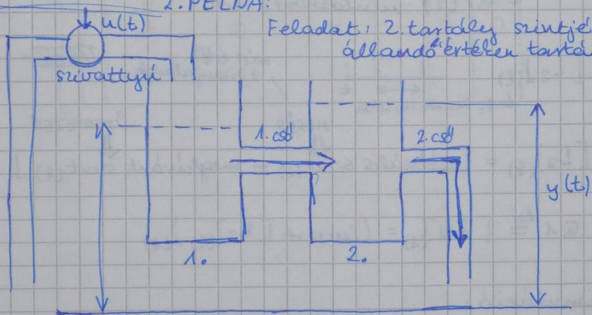
$e(t) = f(x(t), y(t))$; $u(t)$: bemerőjel

$$\begin{aligned} \text{goRight} &= \{ (u(t), x(t), y(t), \phi(t)) \mid u(t) \neq \text{stop}; e_2 < e(t) \} \\ \text{goStraight} &= \{ (u(t), x(t), y(t), \phi(t)) \mid u(t) \neq \text{stop}; |e(t)| < e_1 \} \\ \text{goLeft} &= \{ (u(t), x(t), y(t), \phi(t)) \mid u(t) \neq \text{stop}; -e_2 > e(t) \} \\ \text{goStop} &= \{ \dots \} \end{aligned}$$



2. PÉLDA:

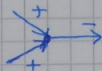
Feladat: 2. tartály szintjeinek állandó értéken tartása



* ~~szivattyú~~

- Kvantitativ modellezés \Rightarrow bonyolult \Rightarrow szabályozás is bonyolult
- Kvalitativ modellezés (Qualitative Reasoning)

{+, -, 0}



Kvalitatív matematika:

$$[Q]_a; [\delta Q]_a, [s^2 Q]_a, \text{ stb.}$$

(invert A) \Rightarrow előjel fordítás

(völte $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$) \Rightarrow többségi előjel

L_2 a 2. tartály szintkülönbsége:

$[L_2] = +$, ha magasabb, mint kellene

$[L_2] = 0$, megfelelő

$[L_2] = -$, ha alacsonyabb, mint kellene

u:

$[\delta U] = +$, ha a szivattyúzás ~~növekedés~~ növekedő

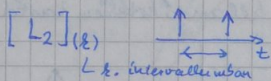
$[\delta U] = 0$, ha a mérték megfelelő

$[\delta U] = -$, ha a szivattyúzás csökkenő

! ΔU rögzített növekmény

- max, min

- $\Delta T(T)$ mintavételi idő



mért érték + bizonytalanság



MÉRÉS

"TERVEZÉS"

$$[L_2]_{(t)} = [\text{aktuális szint}_{(t)} - \text{megkívánt szint}_{(t)}]$$

$$Q_1 \stackrel{\text{def}}{=} [\delta U]_{(t)} = (\text{invert } [L_2]_{(t)})_{(t)}$$

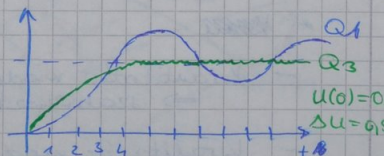
Simuláció:

$$\frac{10}{(s+1)(s+2)}$$

$$u_{\min} = -10; u_{\max} = 10$$

$$\Delta T = 0,1$$

$$\Delta U = 0,1$$



Függelése veit mennyiségét:

2. tartály szintlibdya $\rightarrow +, -, 0$ $[L_2]$
 2. —||— szintváltódsi sebesége $\rightarrow +, -, 0$ $[\delta L_2]$
 1. —||— —||— —||— —||— $\rightarrow +, -, 0$ $[\delta L_1]$

$$[\delta L_1] = \left(\underbrace{L_2(k) - L_2(k-1)}_{\substack{''+'' \\ ''-''}} \right) - \left(\underbrace{L_2(k-1) - L_2(k-2)}_{\substack{''+'' \\ ''-''}} \right) = \cancel{\delta L_2}$$

$$= \delta^2 L_2$$

$$Q_2 \stackrel{\text{def}}{=} [\delta U]_{(k)} = (\text{invert}(\text{votec}([L_2]_{(k)}), [\delta L_2]_{(k)}, [\delta L_1]_{(k)}))$$

$$Q_3 \stackrel{\text{def}}{=} [\delta U]_{(k)} = (\text{invert}(\text{votec}([L_2]_{(k)}), [\delta L_2]_{(k)}, [\delta L_1]_{(k)}))$$

Tervezési oldáson meg kell vizsgálni, utdu
 implementáldni nagyon egyszerű

27

	$[L_2]$	$[\delta L_2]$	$[\delta L_1]$	Q_1	Q_2	Q_3
1	+	+	+	-	-	-
2	+	+	0	-	-	-
⋮	+	+	-	-	0	-
⋮	+	0	+	-	-	-
⋮	+	0	0	-	-	-
⋮	+	0	-	-	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

ELMÉLET

2010.
04.22.
Beágyazott
információs
rendszerek

- Hibrid rendszerek
- Kvalitatív modellezés (+, -, 0); szabályozás

↳ hurok

$$\begin{matrix} ! T & \text{megfelelő} \\ ! \Delta u & \text{---} \end{matrix}$$

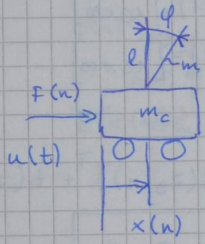
Megj.: szabványi rendszerek

~~3. PÉLDA~~ - Kvalitatív modellezés nondeterminisztikus automatával

$$x(n) \Rightarrow \begin{matrix} [x(0)] & [x(1)] & [x(2)] & \dots & [x(n)] & \dots \\ [u(0)] & [u(1)] & [u(2)] & \dots & [u(n)] & \dots \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} x(n+1) &= Ax(n) + Bu(n) \\ y(n) &= Cx(n) + Du(n) \end{aligned}$$

3. PÉLDA: Fordított inga (inverted pendulum)



$\varphi = 0$ nyugalmi állapot körül lineáris modell

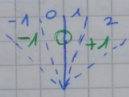
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\varphi} \\ \ddot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{mg}{m_c} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{(m+m_c) \cdot g}{m_c \cdot l} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \varphi \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_c} \\ 0 \\ -\frac{1}{m_c \cdot l} \end{bmatrix} \cdot u(t)$$

$m_c = 1 \text{ kg}$ $m = 0,1 \text{ kg}$ $l = 0,5 \text{ m}$ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ $T_M = 0,02 \text{ s}$

Megj.: ① Nem stabilizálható a rendszer.

$$\underbrace{|x_3| < 0,21}_{\text{szög } 12^\circ} \quad \text{ÉS/VAGY} \quad \underbrace{|x_4| < 0,87}_{\text{szögsebesség}}$$

② A mérés érzékenysége



0,0175 rad φ -re (1°)
0,0175 / minimális idejű φ -ra

$$g_{3,1} = -0,21$$

$$g_{3,0} = -0,0175$$

 ψ

$$g_{3,1} = 0,0175$$

$$g_{3,2} = 0,21$$

$$g_{4,1} = -0,87$$

$$g_{4,0} = -0,0175$$

 ψ

$$g_{4,1} = 0,0175$$

$$g_{4,2} = 0,87$$

Kvalitativ állapotok

$$z_1 = (-1, -1)^T \quad z_2 = (-1, 0)^T \quad z_3 = (-1, 1)^T$$

$$z_4 = (0, -1)^T \quad z_5 = (0, 0)^T \quad z_6 = (0, 1)^T$$

$$z_7 = (1, -1) \quad z_8 = (1, 0) \quad z_9 = (1, 1)$$

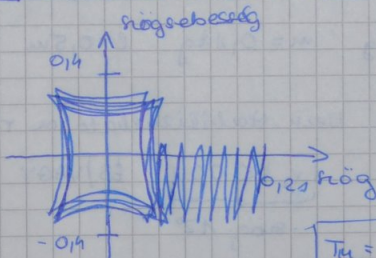
$z_{10} \rightarrow$ kivül

- ① $u(n) = 10 \rightarrow v(n) = 1$ $p(0) = \begin{bmatrix} 10 \times 10 \end{bmatrix}$
- ② $u(n) = 0 \rightarrow v(n) = 0$ $p(-1) = \begin{bmatrix} 10 \times 10 \end{bmatrix}$
- ③ $u(n) = -10 \rightarrow v(n) = -1$ $p(1) = \begin{bmatrix} 10 \times 10 \end{bmatrix}$

$$t(n+1) = p(v(n)) \cdot t(n)$$

$$t(n) = [t(z_1, n), t(z_2, n), \dots, t(z_9, n)]^T + t(z_{10}, n)$$

$z(n)$	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9
$u(n)$	-10	0	0	-10	0	10	0	0	10

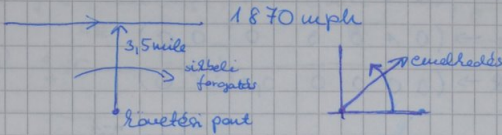


$$T_M = 0,025$$

$$u(n) = 10$$

Fuzzy modellezés és szabályozás

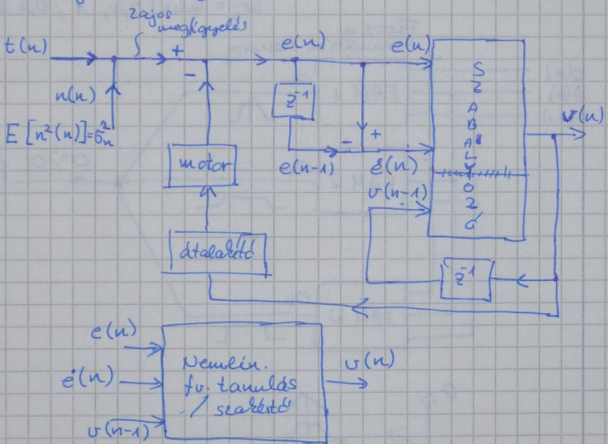
4. PÉLDA: Célkövetés



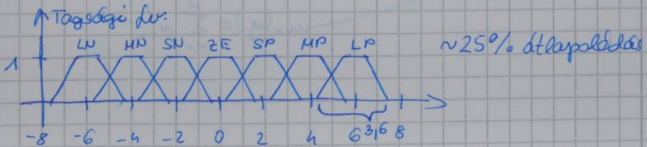
azimut: $0 \dots 180^\circ$
 emelkedés: $0 \dots 90^\circ$

$\left. \begin{array}{l} \text{azimut: } 0 \dots 180^\circ \\ \text{emelkedés: } 0 \dots 90^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow 2 \text{ elforgató mechanizmus}$

- ① Kalman szűrő
- ② Fuzzy szabályozó



- LN = Large Negative
- MN = Medium Negative
- SN = Small Negative
- ZE = Zero
- SP = Small Positive
- MP = Medium Positive
- LP = Large Positive



Numenius értelmezés 7-elemű vektor tartozik

Példa:

$$1 \rightarrow (0 \ 0 \ 0 \ 0,7 \ 0,7 \ 0 \ 0)$$

$$-4 \rightarrow (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$3,8 \rightarrow (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0,1 \ 1 \ 0)$$

IF $e(n) = MP$ AND $\dot{e}(n) = SN$ AND $v(n-1) = ZE$
 THEN $v(n) = SP$ (MP, SN, ZE; SP)

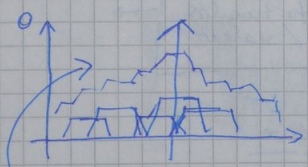
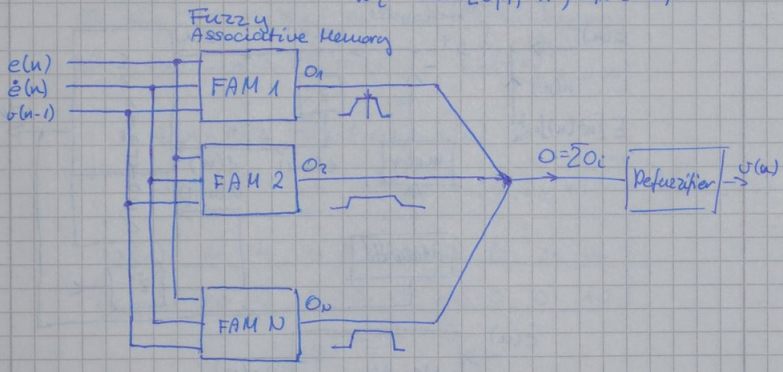
	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
$e(n) = 2,6$	0	0	0	0	1	0,4	0
$\dot{e}(n) = -2,0$	0	0	1	0	0	0	0
$v(n-1) = 1,8$	0	0	0	0,1	1	0	0

$$m_{MP}(e(n)) = 0,4$$

$$m_{SN}(\dot{e}(n)) = 1$$

$$m_{ZE}(v(n-1)) = 0,1$$

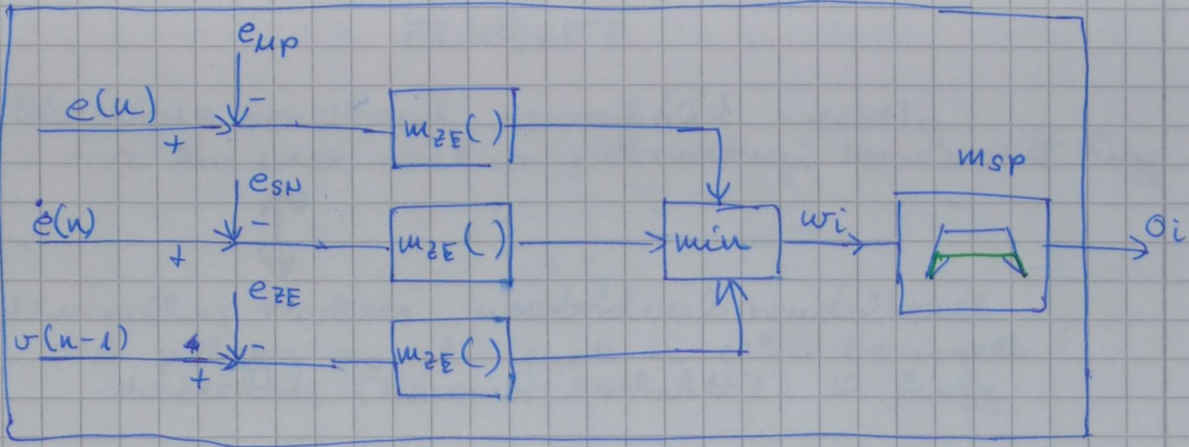
$$w_i = \min[0,4; 1; 0,1] = 0,1$$



Fuzzy centroid

$$v(n) = \frac{\int y m_o(y) dy}{\int m_o(y) dy}$$

$$m_o(y) = \sum_{i=1}^n m_{o_i}$$



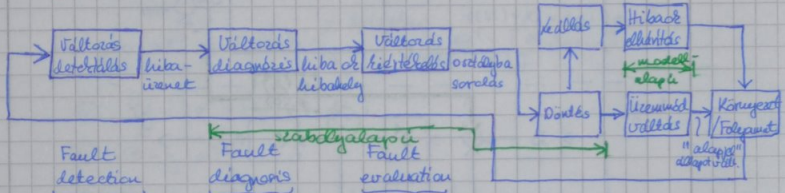
B)R:

1dó \leftrightarrow Feladat végrehajtás

- 2) Ütemezés
- 3) Zrtforráskérés
- 4) Szb repr., mérés, simul.
- 5) Információ \leftrightarrow szb
- 6) Kommunikáció (számítógép)
- 7) Operációs rendszer
- 8) Alkalmazások

- Szenzorhálózatok
 - szb
 - Op. rendsz.
 - Kommunik.
- Trükkös modellek \Rightarrow hatékony implementáció
 - Kvalitatív
 - Fuzzy
- Változásdetektaálás
 - Környezet
 - Meghibásodás
- Folyamatfüggvények hálói

modell-alapú



Fault detection

tény megállapítás

Fault diagnosis

észlelt ok hely meg.

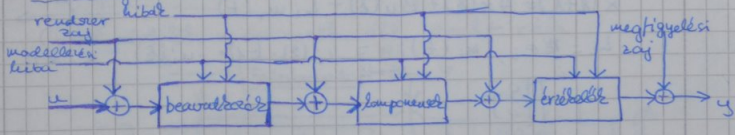
Fault evaluation

a beküldött változás hatás "hárítása"

Decision

feltehetően feltételesek felejt. le kell oldani

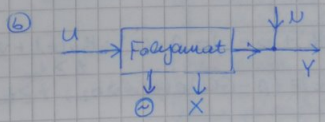
Lehetséges hibaelhárítás:



+ paraméter változások

Változásdetektaálási módszerek:

a) Korábban csak közvetlenül mérhető $u(t), y(t)$



$$Y = f(u, N \oplus, X)$$

N: nem mérhető zaj/zavar

\oplus : " " felgyanúsított param.

X: részben mérhető, részben nem mérhető állapot érték.

① Mérhető jel: határérték + trendfigyelés
 $\Rightarrow Y_{min} < Y(t) < Y_{max}; \dot{Y}_{min} < \dot{Y}(t) < \dot{Y}_{max}$

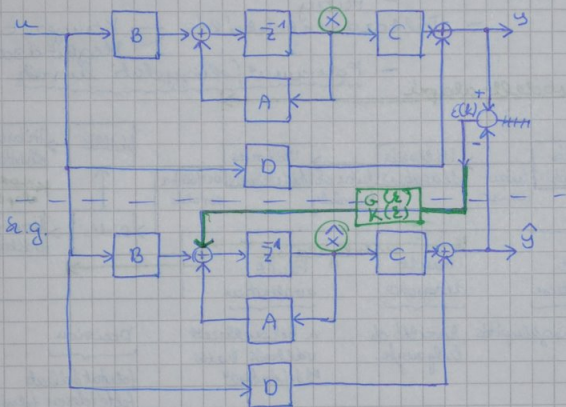
Fel predikció: jósolás \rightarrow modell kell

Fel analízis: spektrum, ill. korreláció

② Nem mérhető állapotváltozók, változók és paraméterek

$$\begin{array}{l} x(k+1) = A \cdot x(k) + B u(k) + E d_A(k) + K \cdot f_A(k) \\ y(k) = C \cdot x(k) + D u(k) + F \cdot d_F(k) + G \cdot f_S(k) \end{array}$$

$\left. \begin{array}{l} \text{zavarás} \\ \text{hiba} \end{array} \right\} \begin{array}{l} r \\ q \end{array}$
 $\left. \begin{array}{l} \text{actuator} \\ \text{= beavatkozás} \end{array} \right\} u$
 $\left. \begin{array}{l} \text{sensor} \\ \text{= érzékelés} \end{array} \right\} y$

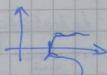


Példa: beavatkozási hiba

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + L_i m_i(t)$$

$$L_i = B e_i; m_i(t) \Big|_{t=k} = u_i(k) \cdot (-1) = -u_i(k) \quad k \geq k_i$$

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$



Folytonos: $\left. \begin{array}{l} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{array} \right\} \text{rendszer}$

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + G(y(t) - \hat{y}(t))$$

$$e(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

$$t = t_0 \text{-ban } \hat{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + v e_i = Ax(t) + Bu(t) + v b_i \quad t \geq t_0$$

$$\boxed{e(t) = x(t) - \hat{x}(t)} \quad \dot{e}(t) = (A - GC)e(t) + v b_i; t \geq t_0$$

$$C = I \text{ (egy egységnyi)}.$$

$$G = \sigma I + A$$

$$\dot{e}(t) = -\sigma I e(t) + \nabla b_i$$

$$e(t) = \underbrace{e^{-\sigma(t-t_0)}}_{\text{lecseng}} e(t_0) + \underbrace{\frac{\nabla}{\sigma} [1 - e^{-\sigma(t-t_0)}]}_{\rightarrow 1} b_i \quad t \geq t_0$$

$$e(t) \Big|_{t \gg t_0} = \frac{\nabla}{\sigma} b_i$$

Folyamat modellek $\begin{cases} \rightarrow \text{statisztikus } Y(u) = x_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots \\ \quad \quad \quad \Theta^T = [x_0, a_1, \dots] \\ \rightarrow \text{dinamikus} \rightarrow \text{diff.} \end{cases}$

a) $Y(u) = f(u(t), \Theta)$

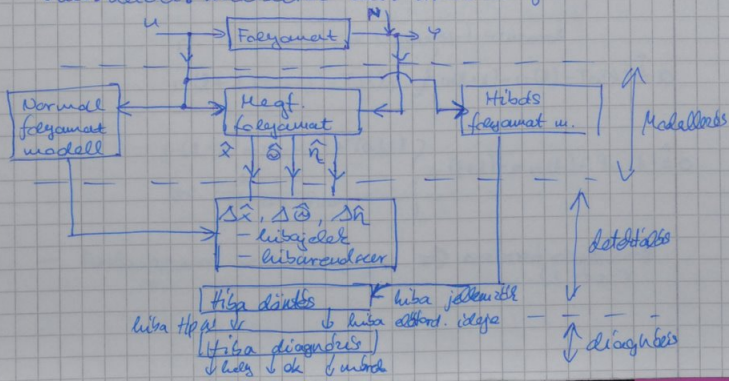
b) $\Theta = g(p)$

c) Θ_i becslés, $Y(t), u(t)$ alapján

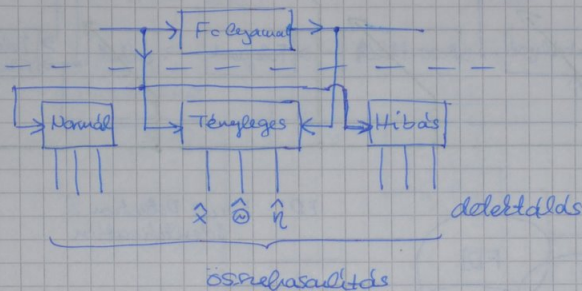
d) $p = g^{-1}(\Theta) \Rightarrow [A, p]$

$$\eta = g \left(\begin{matrix} u \\ y \end{matrix} \right)$$

Udelt. letelelt. módszerrel ált. struktúrájára



Változásdetektilálás



Hibatürol rendszer

Technológiai
szőr

Begyűzött
rendszerek
szőr

Megjegyzés:

- Pillanatnyi redundancia elve
- direkt

$$\left. \begin{aligned} y &= Cx \\ y_0 &= \sum_{k=1}^{N-1} \alpha_k y_k \end{aligned} \right\} y_0 - \sum_{k=1}^{N-1} \alpha_k y_k \stackrel{?}{=} 0$$

- analitikus

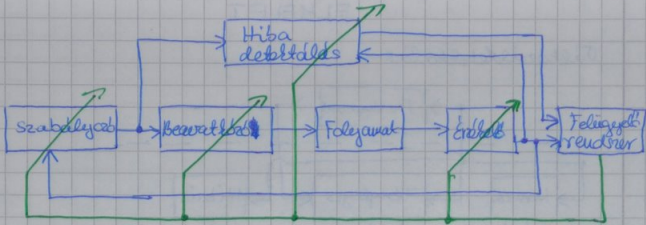
pl. v (sebesség), a (gyorsulás) rendszer

$$v(k+1) = v(k) + Ta(k) \quad \left\{ \begin{aligned} v(k+1) - v(k) - Ta(k) &\stackrel{?}{=} 0 \end{aligned} \right.$$

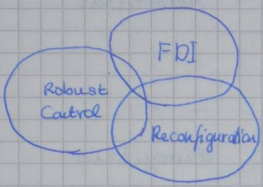
$$v(k+1) = \alpha v(k) + Tu(k) \quad \left\{ \begin{aligned} v(k+1) - \alpha v(k) - Tu(k) &\stackrel{?}{=} 0 \end{aligned} \right.$$

$v = \frac{\text{motor ford}}{\text{jelenléti tárolás}}$

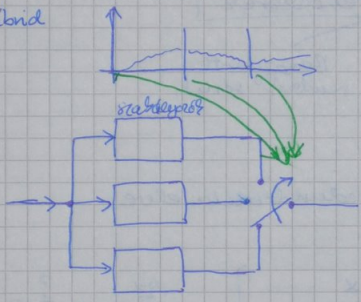
- Párhuzamos redundancia \Rightarrow párhuzamos rendszerek (3 \rightarrow 2)



FDI: Fault Detection & Identification



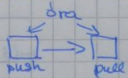
Hibrid



Switching Control

Tervezési szempontok

1. Hibátűrő rendszer követelményanalízise
 - Megbízhatóság-elosztás analízise
 - Komponens hiba valószínűsége
 - Hibás üzemi mód és katasztrófa analízise
 - > terjedés

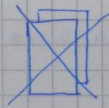


- Rendszer megbízhatóság analízise
- Megbízhatóság elosztás

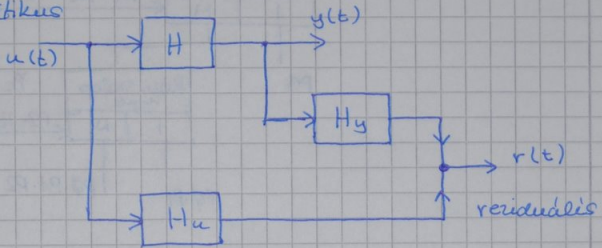
2. Redundancia tervezése (direkt, funkcionális (analitikus) redundancia)
 - Kritikuság analízise
 - Hiba detektálhatóság, izolálhatóság mértéke, ill. ezek meghatározása
 - Ellenintézkedés, a hiba "befogadása" feltételei

+ független redundancia:

Éülönbörd HW } ugyanarra
 — u — SW }



Redundancia
 - Analitikus



Hibatűrő szabályozási módszer

Passzív
 |
 Robosztus

Aktív <intelligens>

FDI + újrat konfigurálás

Tervezés közben

On-line adaptáció } futási
 újratervelés } időben

Béagyzott rendszerék ellenőrzéstechnikaija

- Szabványok

1. Termékminőség, szolgáltatásminőség

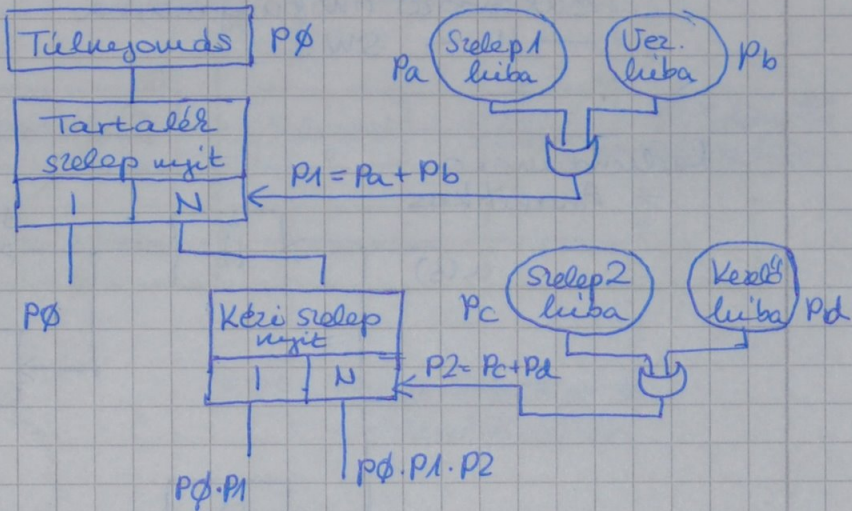
Szolgáltatásbiztonság ⇒ Dependability

- Hibajelenség (Failure) | ~~Fault~~ Fault-tolerant...
- Hiba (Error) | Fault is adaptive...
- Kiszáradás (Fault)

- Hiba megelőzés
 Hiba megismertetés
 Hiba tülés
 Hiba előrejelés

Verifikáció (igazolás): ide tervezem-e a rendszer?
 Validáció (érvényesítés): jó rendszert terveztem-e?

Veszélyanalízis: OR - következmény analízis



8.4. BEAGGYAZOTT RENDSZEREK ELLENŐRZÉSTECHNOLÓGIÁJA

Veszély és kockázat analízis

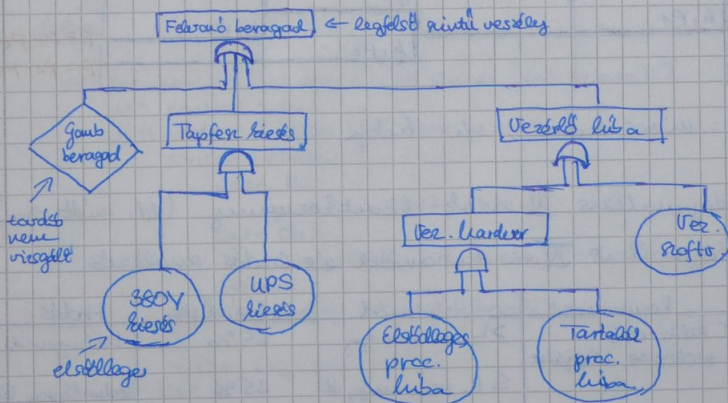
- EN50129 vasdtörít.
- DO178B repg. beaggyazott rendszere

Veszélyanalízis I.: Hibafa analízis

- Rendszerponti veszély
- Közbenső események
- Primitív - események
- Elsődleges események

- legfeljebb v. közbenső esemény
- elsődleges vagy alapozintű esemény
- ◇ tovább nem vizsgálható esemény
- ▣ normál esemény (nem hibák v. veszélyek)
- feltétel
- ∩ és
- ∪ vagy

Példa

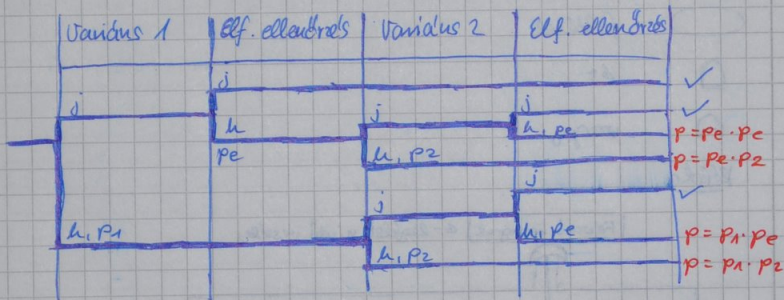
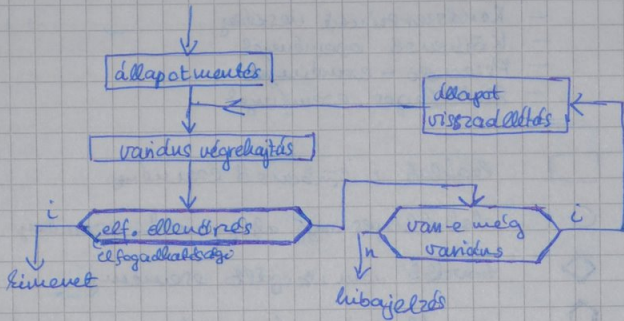


Veszélyanalízis II: eseményfa analízis

Faerős blokk (recovery block) technika

Softver redundancia:

- párhuzamos \Rightarrow N verziós programozás
- soros redundancia \Rightarrow jávított blokk.



j : nincs hiba ; h : hiba

Veszélyanalízis III: ok-következmény (ld. múlt órán)

Veszélyanalízis IV: hibamód és hatás analízis

Komponens	Hibamód	Valószínűség	Hatás
I. Hálózati tellelés vizsgálata	$> L$ átmenet	65%	törlésvesztés
	$\leq L$ nem megy át	35%	technológiai hiba

Üresély - katalógus

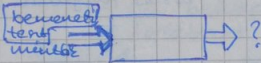
- üresély szint: katasztrófális, kritikus, mérsékelt, elhanyagolható
- bekövetkezési valószínűség/gyakoriság.

Szint/Gyak.	Katasztrófális	Kritikus	Mérsékelt	Elhanyagolható
Gyakori	P2 szelep beragad			
Bekövetkező		Pumpa beragad	P3 szelep beragad	31 jelfogó záron marad
Esetenként	Motor nem indul			
Ritka		Tartály éreszt		
Valószínűtlen				

Üresély \Rightarrow kockázat \Rightarrow tesztelés

Szoftvertesztelés

- Funkcionális tesztelés: ~~felelős~~ fekete doboz



- Strukturális tesztelés: üveg doboz

Példa

```
int set_control(int mode, int status, int phase) {
    int control = 0;
    if ((mode == NORMAL) && (status == OK)) {
        switch (phase) {
            case IN:
                control = 0x0F; break;
            case OUT:
                control = 0xF0; break;
            default:
                control = 0x00; break;
        }
        write_log(control);
    } else {
        control = 0xFF;
    }
    return control;
}
```

mode: NORMAL v. SAFE
status: OK v. FAULTY
phase: IN, OUT, v. STOP

Test km.	mode	status	phase
TEST 1	NORMAL	OK	OUT
TEST 2	NORMAL	OK	IN
TEST 3	SAFE	FAULTY	STOP
TEST 4	NORMAL	OK	STOP
TEST 5	SAFE	OK	X
TEST 6	NORMAL	FAULTY	X

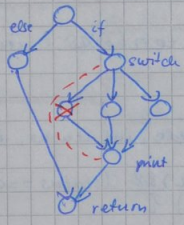
↑
a 100%-os
teszteléshez
ezek is kellenek
↓

Utastítás lefedettség: Tesztelés során végrehajtott utastítások száma
összes utastítás száma

Döntési dg lefedettség: Teszt. során végrehajtott dönt. dgok száma
összes döntési dgok száma

Feltétel lefedettség: Feltételben a tesztelt bemeneti kombinációk száma
Feltételben összes "u"

Ut lefedettség: Befajrt független utak száma
összes független út



utastítás lefedettség: 8/9

döntési dg ——— ' IF: 2/2, SWITCH: 2/3 ⇒ 4/5

feltétel ——— ' IF: 2/4, SWITCH: 2/3 ⇒ 4/6

út lefedettség ' 3/4

100% út lefedettség ⇒ 100% utastítás lefedettség

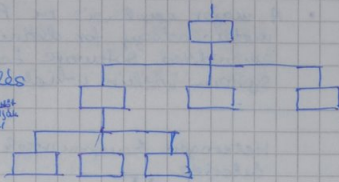
⇒ 100% döntési dg ———

TESZTELES

- Rendszer

- Modul-tesztelés
- Integrációs tesztelés
- Bottom-up
- Top-down
- Futatórendszer integrációja

mindkettő használható egyes



⊕ Pl.:

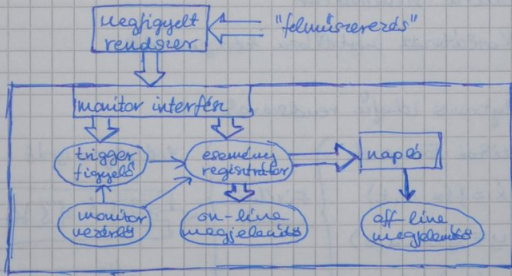
- Biztonság tesztelése
- Teljesítmény
- Stressz terhelés
- Dokumentáció
- :

- Validációs tesztelés: valós környezetben működés

Monitorozás: futás idejű tesztelés

Monitor:

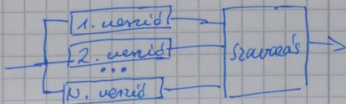
- szoftver
 - befolyásolja a működés feltételeit!
- hardver
 - nem befolyásol; drága; korlátozott tudású
- hibrid
 - mérésrendszer: szoftver
 - érzékelés + kijelzés: hardver



Hibatűrés:

- Redundancia
 - időbeni - szoftver
 - paralelismos - hardver + szoftver

össze-
használták { recovery block
N-verziós programozás
- külön proc.
- vagy a proc. de más program



- A major emphasis in Ptolemy II, is on the methodology for defining and producing embedded software together with the system within which it is embedded.

Heterogén komponensek
interfésze



software

domain
specifikáció
+
grafikus nyelvek

- Tervezés
 - Tervezőrendszer
- Működtetés
 - Univerzális rendszrintegrátor
 - middleware } univerzális
 - operációs rn.
 - automatikus kódgenerálás

- A principle of the Ptolemy Project is that the choices of the models of computation strongly affect the quality of a system design

- Grafikus modellelési eszköz
- Heterogén modellek
- Hangsúly a szemantikai kölönbségeken van
- Fava szimulátor
- Korlátolt mértékben kódgenerálás

1. Folytonos idejű rendszerek

- Fizikai környezet

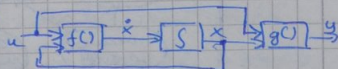
$$\dot{x} = f(x, u, t)$$

$$y = g(x, u, t)$$

$$x(t_0) = x_0$$

Fizikai
modell

Felfolyangráf

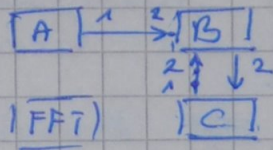


Δt $\left\{ \begin{array}{l} \text{fix} \\ \text{adaptív} \end{array} \right.$ analóg szg.
hibrid

időkezelés: - váltás, folytonos idejű
- közös óra

2. Diszkrét események (discrete events) ~~modell~~ modell
időbeliség (tizen)

3. Szinkron adatfolyam gráf



4. Állapotautomata

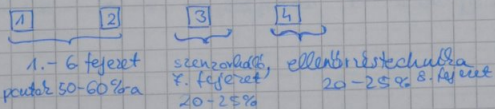
5. Idővezérelt rendszer (TT)

6. Kommunikáló folyamatok

7. Folyamat hálózatok (Process networks)

1. BEVEZETÉS (BIR, akciókésztetés, ET-TT, lehetetlenség, \rightarrow redundancia, relativitívus hatás)
2. ÜTEMEZÉS (ütemelhetőség tesztel, RM, DM(A), EDF, LL) \uparrow $\ln 2, 2^i (-)$
3. MEMÓRIAMENEDZSMENT (multitasking \rightarrow heap, stack, könyvtárak...) \Rightarrow malloc, free, fix foglalás, egyforma blokkok
4. ÓRA, MŰSZOLG., SZINKRONIZÁCIÓ (fogalmi óra + tul. \Rightarrow körp, HS, elottat, pseudo process kommunikáció komplexitása)
5. MENNYISÉGEK, VÁLTOZÓK \rightarrow ("élettartam" \Rightarrow modell alapú \Rightarrow fűslés \rightarrow parametrikus - regresszió - lin. - megfigyelt "A-GC")
6. KOMMUNIKÁCIÓ (
 - explicit \Rightarrow PAR ; dmax \Rightarrow akció késztetés
 - implicit \Rightarrow token + busz
 - \Rightarrow TIA \Rightarrow TTP/C ; TTP/A
 - MEDL ; STATUS \Rightarrow
 - KONTROLL \Rightarrow
 - register \Rightarrow
 - ET TT $\left. \begin{matrix} \text{U BW} \\ \text{problém} \end{matrix} \right\}$
7. OPERÁCIÓS REND. (BIR \Leftrightarrow ASZTALI kernel : $\frac{5}{3}$)
8. ESETTANULMÁNYOK: (szenzor-hálózat $\left\{ \begin{matrix} 2xAA \\ \text{szinkronizáció} \\ \text{kommunikáció} \\ \text{TinyOS} \end{matrix} \right.$
 - implementáció - kvalitatív modellelés
 - ellenőrzéstechnika - fizetés

Vizsga : 4. oldal:



- Pontozás:
- 0..40
 - 0..15 : 1
 - 40% \rightarrow 16. 20 : 2
 - 21..25 : 3
 - 26..31 : 4
 - 80% \rightarrow 32. 40 : 5

1. Miert rövid az üzenet TT esetén? (1p)
- nem kell bele címzett, stb.

2. NBW protokoll? (3p)

3. $A = \text{diag} \langle 0.5, -0.5 \rangle$; $C = [1 \ 1]$; $(A - GC)^2 = 0$ (4p)

↑
Ha $\text{diag } A = GC \rightarrow AC^{-1} = G$

4. 10 tanár $\rightarrow \bigcirc$ adurolód (2p)
 $\rightarrow \bigcirc$ szimulert 3-ra
 $\rightarrow \bigcirc$ kell állítani
 $\rightarrow \Rightarrow$

5. Hibátlánál átlagolás

$\textcircled{1} \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ \textcircled{1} \rightarrow$

6. Ismertesse a TinyOS/Desc környezet építőelemeit és tulajdonságait!

Komponensek és interfészek
Típusai $\left\{ \begin{array}{l} - \text{modul (interfész imp.)} \\ - \text{konfiguráció (összehozott komponensek)} \end{array} \right.$

szinkron kód, csak tovább élhet^g el
asinkron kód, előkelő legalsó egy NBW IT-ből

⋮

7. Előreállítás alapú ~~de~~ routing
Gradiens \rightarrow


```
control = 0x60;
switch (direction) {
```

```
  case LEFT:
```

```
    if ((pos == END) && (status == OK))
```

```
      control = 0xFF;
```

```
      finished = true;
```

```
    } else {
```

```
      control = 0x0F;
```

```
    }
```

```
    break;
```

```
  case RIGHT:
```

```
    control = 0xF0;
```

```
    break;
```

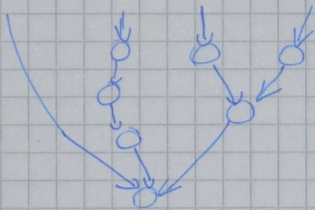
```
}
```

```
pos: NORMAL vagy END
```

```
status: OK vagy FAULTY
```

```
direction: LEFT, RIGHT, vagy STAY
```

Tent bemenet	pos	status	direction
1	end	ok	left
2	end	ok	right
3	end	faulty	left



Független utak: 4

Utastás: 100%

Vonóéri dg: 80% (4/5)

Feltétel: 57% (4/7)

Utócsal: 75% (3/4)

pos	status	direction
normal	ok	left
normal	faulty	left
x	x	stay

jitter: e biz. be, egyélt fűrdés: $\pi = e(1 - \frac{1}{b})$