

# KAASAEGSED JUHTIMISSÜSTEEMID (PROTSESSIJUHTIMISES)

Laialt kasutatavad (*advanced*) meetodid

## 1) *Model predictive control (MPC)*

*Generalized Predictive control* - adaptiivne *MPC*  
(Mittelineaarne *MPC*)

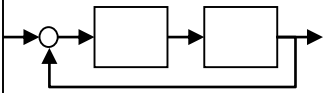
<https://se.mathworks.com/help/mpc/examples/control-of-an-inverted-pendulum-on-a-cart.html>

## 2) *Adaptiivjuhtimine (Adaptive control)*

Objekti identifitseerimisega adaptiivjuhtimine  
(*Self-tuning control, Auto-tuners*)

(Etalonmudeliga adaptiivsüsteemid  
(*Model Reference adaptive systems*))

## 3) Statistilised ja muud meetodid



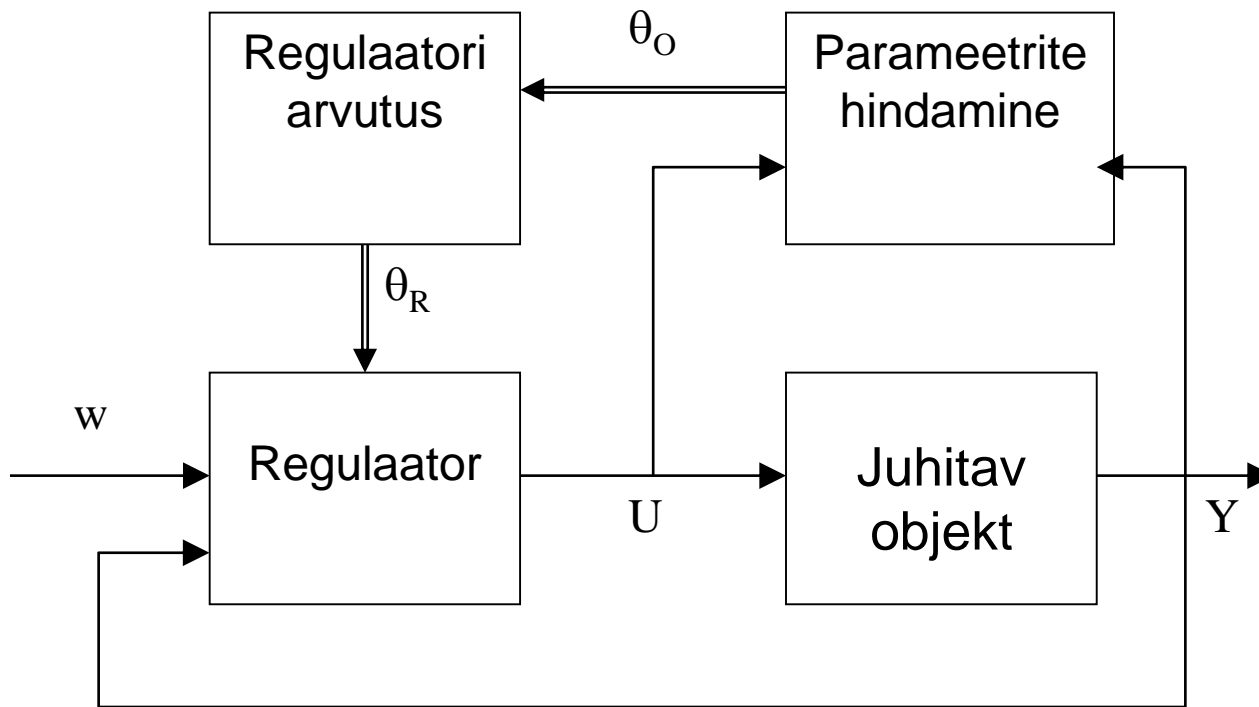
## KAASAEGSED JUHTIMISSÜSTEEMID (PROTSESSIJUHTIMISES)

Uuemad (*advanced*) meetodid, mis kasutavad tehisintellekti (*artificial intelligence*) e. intelligentsed 'regulaatorid'

- 1) Ekspertsüsteemid (*Knowledge-based systems, KBS*)
- 2) Närvivõrgud (*Neural networks*)
- 3) Hägusjuhtimine (*Fuzzy control systems*)

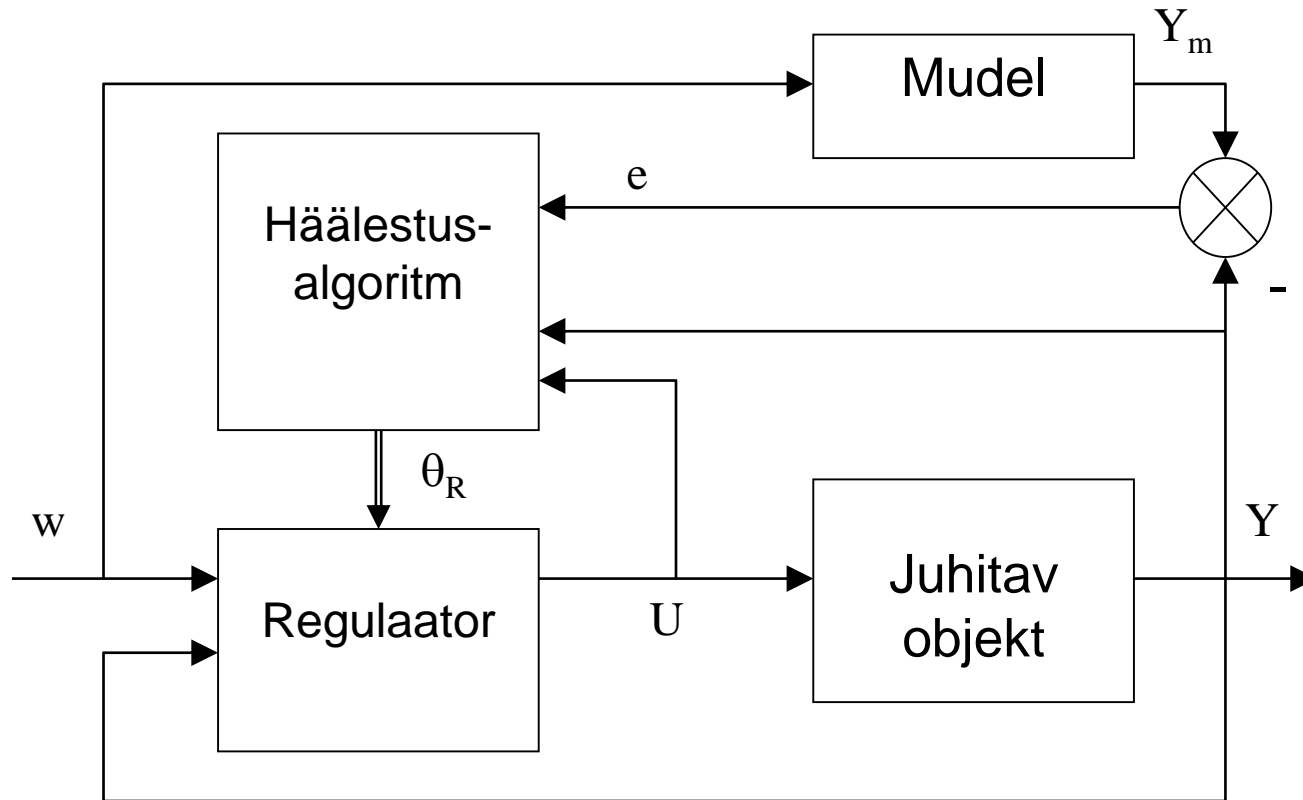
# ADAPTIIVJUHTIMINE

## ISEHÄÄLESTUVAD SÜSTEEMID (STC)



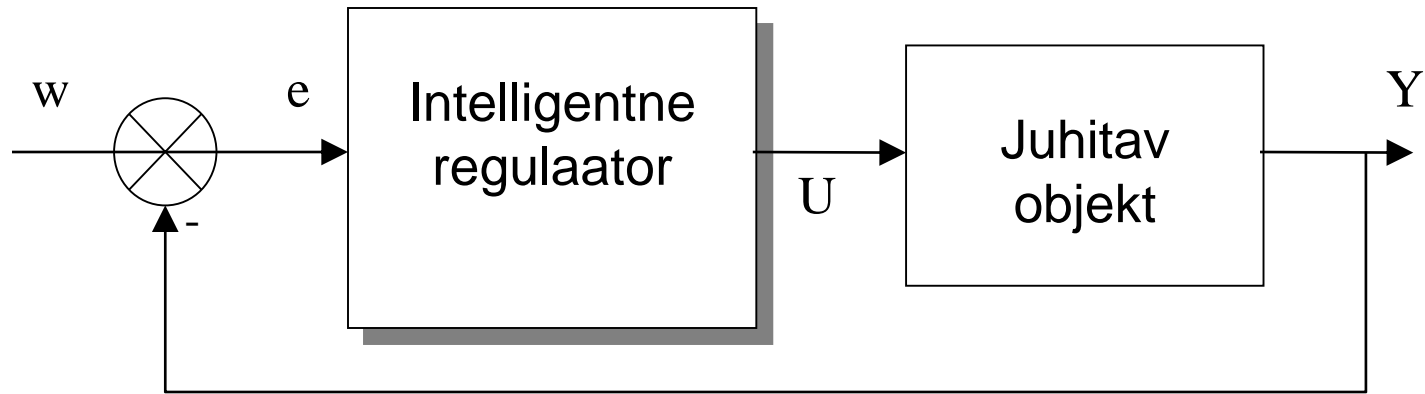
# ADAPTIIVJUHTIMINE

## ETALONMUDELIGA SÜSTEEMID (MRAS)



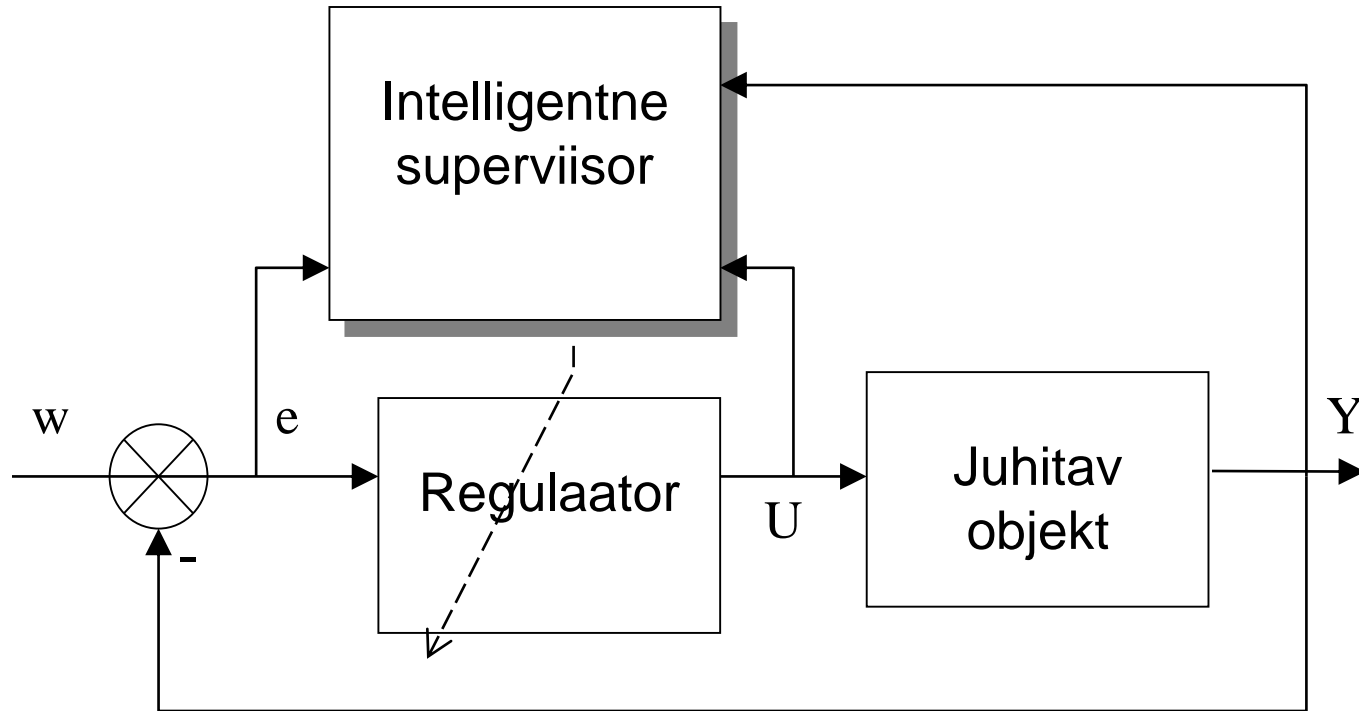
# INTELLIGENTSED SÜSTEEMID

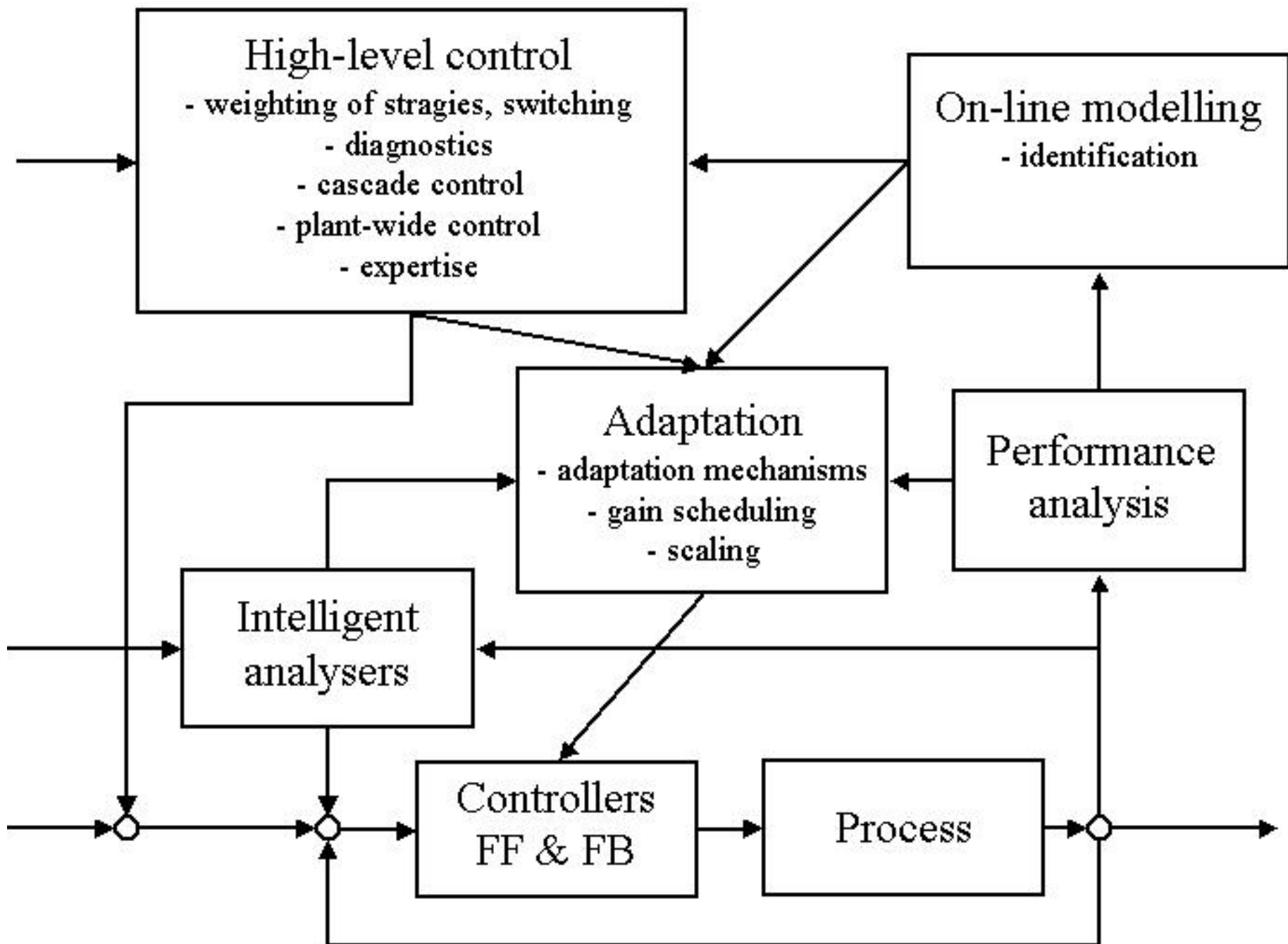
Otsese intelligentse juhtimisega süsteem



# INTELLIGENTSED SÜSTEEMID

## Kaudse intelligentse juhtimisega süsteem





# Mittelineaarsete süsteemide juhtimine etalonmudeliga

Juhitav mittelineaarne süsteem:

$$\dot{x}(t) = ax(t) + a_0 f(x) + bu(t)$$

kus  $a$  ,  $a_0$  ja  $b$  on konstantsed, aga tundmatud. Olek  $\mathbf{x}(t)$  ja  $\mathbf{f}(\mathbf{x})$  on mõõdetavad. Mittelineaarne funktsioon  $\mathbf{f}(\mathbf{x})$  on sile funktsioon olekust ja  $\mathbf{f}(\mathbf{0})=\mathbf{0}$ .

Etalonmudel:

$$\dot{\mathbf{x}}_m(t) = \mathbf{a}_m \mathbf{x}_m(t) + \mathbf{b}_m \mathbf{w}(t), \quad \mathbf{a}_m < \mathbf{0}$$



# Mittelineaarsete süsteemide juhtimine etalonmudeliga

Häälstatav regulaator:

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{k}_1(t)\mathbf{x}(t) - \mathbf{k}_2(t)\mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{k}_0(t)\mathbf{w}(t)$$

Adaptiivsüsteemi häälustusalgoritmid

$$\dot{\mathbf{k}}_1(t) = \text{sign}(b)\mathbf{e}(t)\mathbf{x}(t)$$

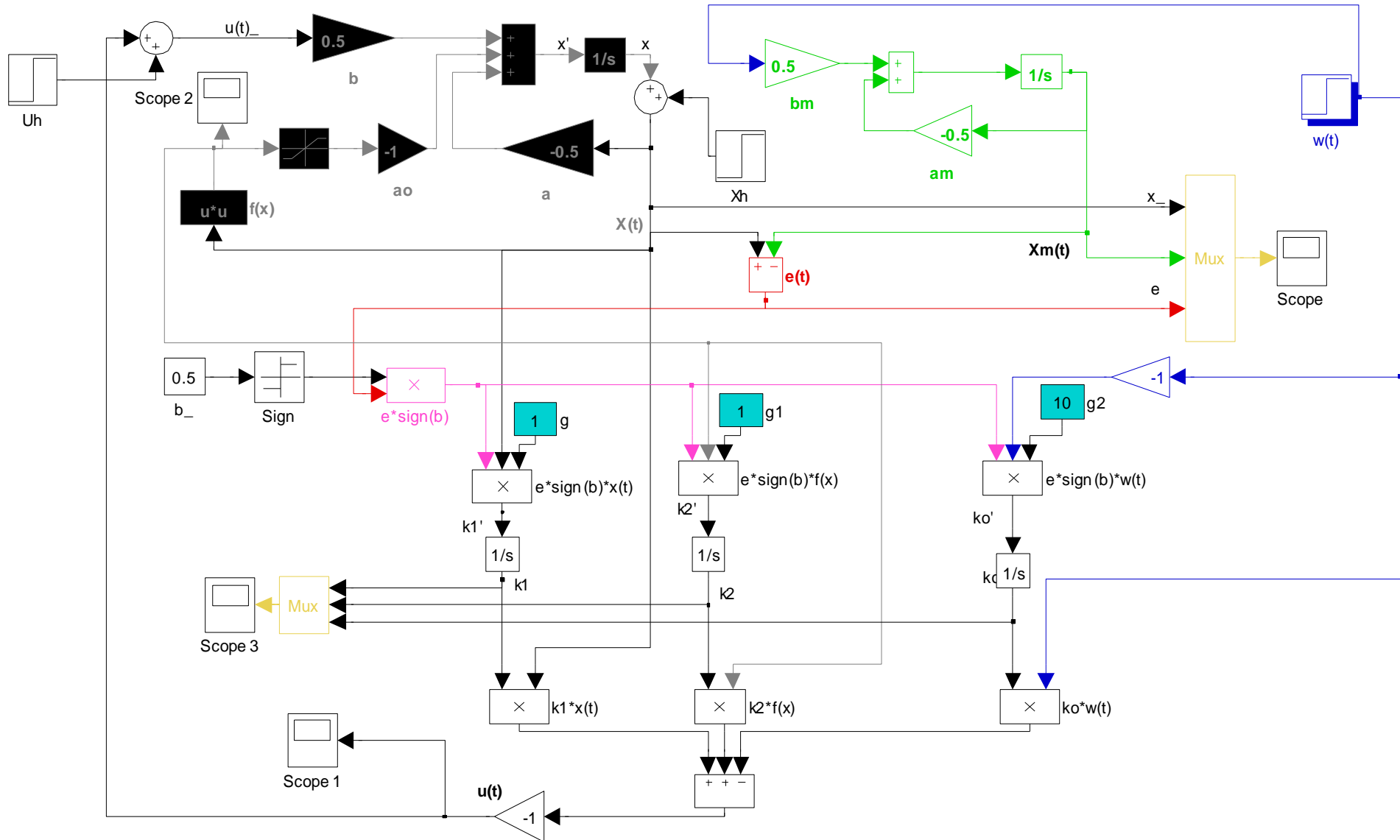
$$\dot{\mathbf{k}}_2(t) = \text{sign}(b)\mathbf{e}(t)\mathbf{f}(\mathbf{x})$$

$$\dot{\mathbf{k}}_0(t) = -\text{sign}(b)\mathbf{e}(t)\mathbf{w}(t)$$

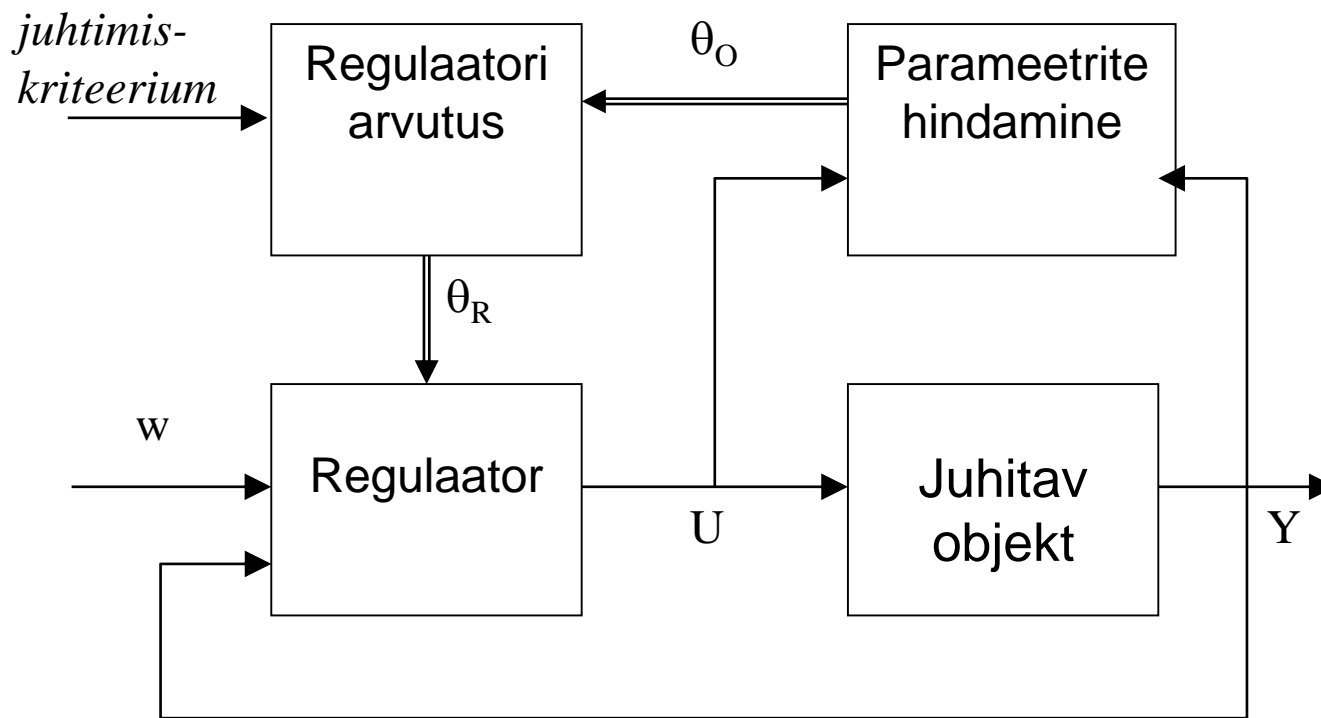
Oleku viga  $e(t) = x(t) - x_m(t) \rightarrow 0$

Tasakaaluolek  $\mathbf{e}(t)=0$ ,  $\mathbf{k}_1(t)=\mathbf{k}_1$ ,  $\mathbf{k}_2(t)=\mathbf{k}_2$  ja  $\mathbf{k}_0(t)=\mathbf{k}_0$  on stabiilne, mis tähendab, et sünteesitud adaptiivsüsteem järgib täpselt etalonmudelit.

# Realisatsioon Simulink'is (adaptju1.slx)



# IDENTIFITSEERIMISEGA ADAPTIIVSÜSTEEM



# Åström – Wittenmarki lineaarne diskreetaja regulaator

(n järku) süsteemi adaptiivjuhtimisel

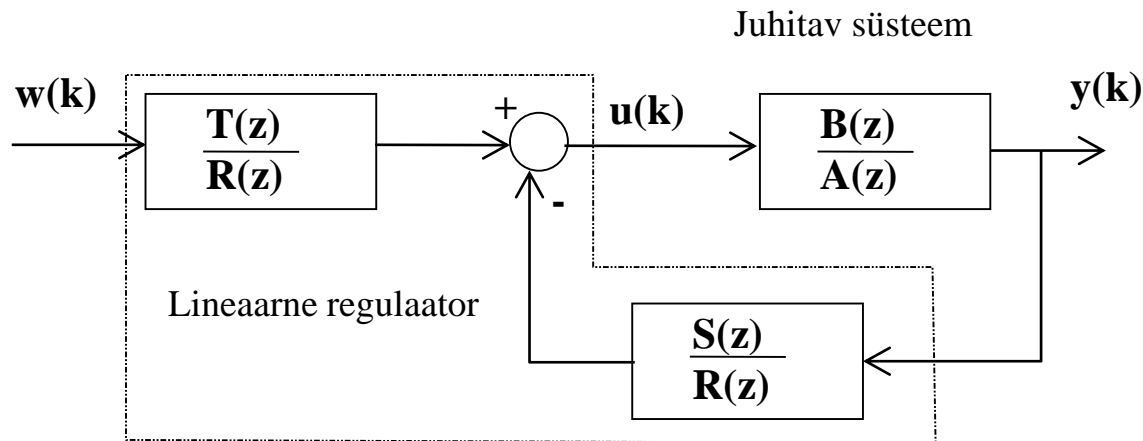
$$A(z)y(k) = B(z)u(k)$$

kus  $A(z) = z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_n,$

$$B(z) = b_0z^m + b_1z^{m-1} + \dots + b_m$$

Regulaator on kujul

$$R(z)u(k) = T(z)w(k) - S(z)y(k)$$



vt. Ennu Rüstern' Adaptiivsüsteemide teema II osa esimene punkt

Suletud süsteemi käitumine on antud etalonmudeliga

$$A_M(z)y_M(k) = B_M(z)w(k)$$

$$A_M(z) = z^2 + a_{M1}z + a_{M2}$$

$$B_M(z) = b_{M1}z + b_{M2}$$

Lähtudes juhitava süsteemi ja regulaatori võrranditest saab esitada suletud süsteemi võrrandi. Arvestades, et suletud süsteem peab käituma täpselt nagu etalonmudel, saame ..

teist järku süsteemi jaoks, teist järku etalonmudeliga ( $n=2, m=1$ ),

Taastaja polünoom  $A_0(z) = a_0$  ja  $a_0 = 1$

regulaatori polünoomid  $R(z) = z + r_0, T(z) = t_0z + t_1, S(z) = s_1z + s_2,$

regulaatori polünoomid

$$T(z) = \frac{b_{M1}}{b_1}z + \frac{b_{M2}}{b_1}$$

$$R(z) = z + \frac{b_2}{b_1}$$

$$S(z) = \frac{(a_{M1} - a_1)}{b_1}z + \frac{(a_{M2} - a_2)}{b_1}$$