

Industriell reglerteknik

Föreläsning 11a: Exempel om överordnad
MPC-reglering

Martin Enqvist

Reglerteknik
Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet

Repetition: MPC

Minimeringsproblem i MPC:

$$\min_{u_{min} \leq u \leq u_{max}} \sum_{j=0}^{N-1} \|z(k+j)\|_{Q_1}^2 + \|u(k+j)\|_{Q_2}^2$$

$u(k+j)$, $j = 0, 1, \dots, N-1$ ändligt antal fria variabler (styrsignalsekvensen)

N = prediktionshorisont (designvariabel)

Repetition: MPC-algoritm

MPC-algoritm:

1. Mät $x(k)$ (eller skatta med observatör utifrån mätningar av $y(k)$).
2. Räkna ut styrsignalssekvensen $u(k+j)$, $j = 0, 1, \dots, N-1$. genom att lösa MPC-minimeringsproblemet .
3. Ställ ut första elementet $u(k)$ i styrsignalssekvensen.
4. Tidsuppdatering, $k := k + 1$.
5. Repetera från steg 1.

Repetition: Kompakt beskrivning

Kompakt beskrivning av målfunktionen:

$$(\mathcal{F}x(k) + \mathcal{G}U)^T \mathcal{M}^T \mathcal{Q}_1 \mathcal{M} (\mathcal{F}x(k) + \mathcal{G}U) + U^T \mathcal{Q}_2 U$$

MPC-minimeringsproblemet formulerat som ett kvadratisk programmeringsproblem (QP-problem):

$$\min_U \frac{1}{2} U^T (\mathcal{G}^T \mathcal{M}^T \mathcal{Q}_1 \mathcal{M} \mathcal{G} + \mathcal{Q}_2) U + (\mathcal{G}^T \mathcal{M}^T \mathcal{Q}_1 \mathcal{M} \mathcal{F}x(k))^T U$$

$$\text{bivillkor } A_u U \leq b_u$$

Repetition. . .

MPC-algoritmen kan modifieras för att få:

- Referensföljning
- Integralverkan
- Hantering av generella bivillkor (t.ex. på den styrda signalen z)

Stabiliteten kan garanteras vid

- MPC med sluttillståndsbivillkor ($x(k + N) = 0$)
- MPC med sluttillståndsstraff (extraterm $\|x(k + N)\|_P^2$ i målfunktionen)

Överordnad MPC-reglering

I många fall används inte enbart MPC för att styra ett system, utan MPC-regulatorn styr systemet indirekt via ett antal enklare regulatorer.

Observationer:

- Utsignalerna från MPC-regulatorn är då referenssignaler till de enkla regulatorerna.
- Det finns typiskt inga bivillkor på dessa signaler.
- Bivillkoren på de verkliga styrsignalerna måste tas omhand på samma sätt som bivillkor på z .
- De enkla regulatorerna måste ingå i modellen som MPC-regulatorn använder.

Exempel: Överordnad MPC-reglering: Bivillkor i Matlab

```

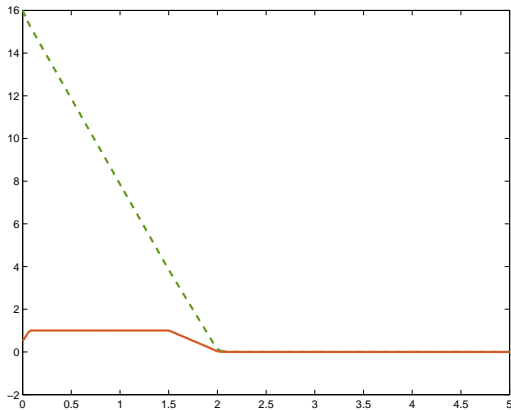
Mt=[1 0 0 0;
    0 1 0 0;
    K1 0 1 0;
    0 K2 0 1];
Dz=[0 0;0 0;-K1 0;0 -K2];
zu=[20;1;10;8];
z1=[-10;-.5;-10;-8];
Mtblock=blockrepeat(Mt,N);
Dzblock=blockrepeat(Dz,N);
Azu=Mtblock*S+Dzblock;
bzu=repmat(zu,N,1)-Mtblock*H*x;
Azl=-Mtblock*S-Dzblock;
bzl=repmat(-z1,N,1)+Mtblock*H*x;
Ar=[eye(N*m);-eye(N*m)];    %(ubounds innehåller gränser för r)
br=[repmat(ubounds(:,2),N,1);repmat(-ubounds(:,1),N,1)];
A=[Ar;Azu;Azl];
b=[br;bzu;bzl];

```

Exempel: Överordnad MPC-reglering

Tanknivåer vid överordnad MPC-reglering kombinerat med PI-reglering.

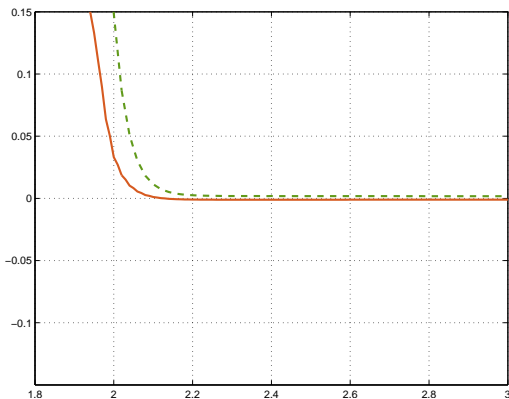
Nivån i tank 1 (**grönt, streckat**) och i tank 2 (**rött, heldraget**).



Exempel: Överordnad MPC-reglering...

Inzoomade tanknivåer vid överordnad MPC-reglering kombinerat med PI-reglering.

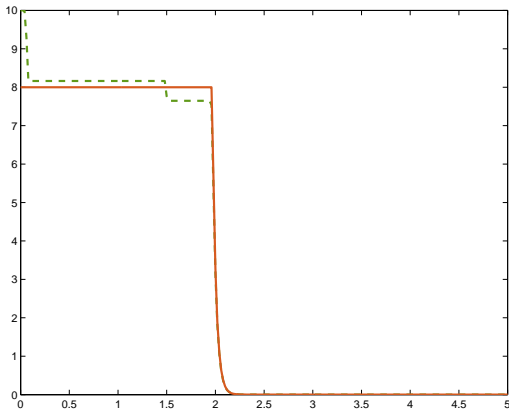
Nivån i tank 1 (**grönt, streckat**) och i tank 2 (**rött, heldraget**). [För snabb insvängning i tank 2!]



Exempel: Överordnad MPC-reglering...

Styr signaler vid överordnad MPC-reglering kombinerat med PI-reglering.

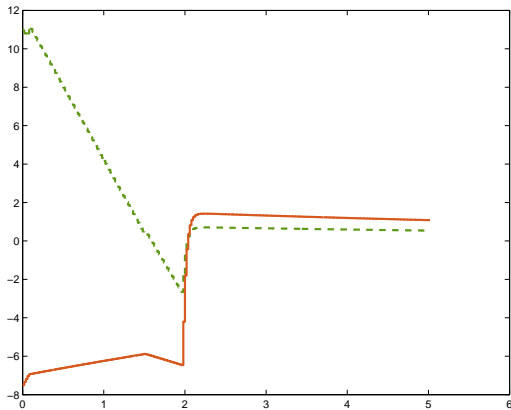
Signal till pump 1 (**grönt, streckat**) och till pump 2 (**rött, heldraget**).



Exempel: Överordnad MPC-reglering...

Referenssignaler till
PI-regulatorerna vid
överordnad MPC-reglering
kombinerat med PI-reglering.

Signal till PI-regulator 1
(**grönt, streckat**) och till
PI-regulator 2 (**rött,
heldraget**).

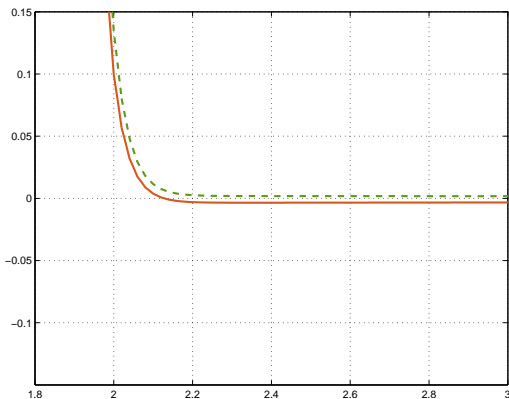


Exempel: Överordnad MPC-reglering...

Inzoomade tanknivåer vid överordnad MPC-reglering kombinerat med PI-reglering.

Nu mindre vikt på nivån i tank 2.

Nivån i tank 1 (**grönt, streckat**) och i tank 2 (**rött, heldraget**). [Rätt snabbhet hos insvängningen i tank 2!]



Sammanfattning

- MPC kan användas för att generera referenssignaler till enklare regulatorer och på så sätt få dem att samverka mer effektivt
- Modellen i MPC-regulatorn blir då en modell både av det styrda systemet och av de enklare regulatorerna

www.liu.se