



TECHNIEK
EN MANAGEMENT

Model Predictive Control

R.R.P. van Nooijen

Afdeling Water management
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Technische Universiteit Delft

Slimmer Waterbeheer met Real-Time Control, 16-17 mei 2018

Wat kan Model Predictive Control en wat hebben we ervoor nodig?

Hoe werkt het?

- ▶ Gebruik van pomp („duur”) of sluis („goedkoop”) versus grootte en duur van afwijking van streefpeil.
- ▶ Riool overstort in stedelijk gebied versus pompkosten en overbelasting van zuivering.
- ▶ Wateroverlast door hoog peil in meer nu versus water tekort voor irrigatie later in het jaar.

- ▶ Begrensde pompcapaciteit.
- ▶ Hoogte dijken.
- ▶ Minimale vaardiepte.
- ▶ Mechanische limieten afgemeerde woonboten.
- ▶ Boven een bepaald peil moeten de pompen altijd aan.

- ▶ Voorspelling van toekomstige omstandigheden.
- ▶ Voorspelling van systeemgedrag.
- ▶ Getalmatige beoordeling van wenselijkheid van systeemgedrag.
- ▶ En om praktische redenen:
 - ▶ tijdshorizon;
 - ▶ getalmatige beoordeling van wenselijkheid van toestand aan horizon.

- ▶ Voorspelling van toekomstige omstandigheden.
- ▶ Voorspelling van systeemgedrag.
- ▶ Getalmatige beoordeling van wenselijkheid van systeemgedrag.
- ▶ En om praktische redenen:
 - ▶ tijdshorizon;
 - ▶ getalmatige beoordeling van wenselijkheid van toestand aan horizon.

- ▶ Voorspelling belasting
- ▶ Model waterstanden
- ▶ Metingen

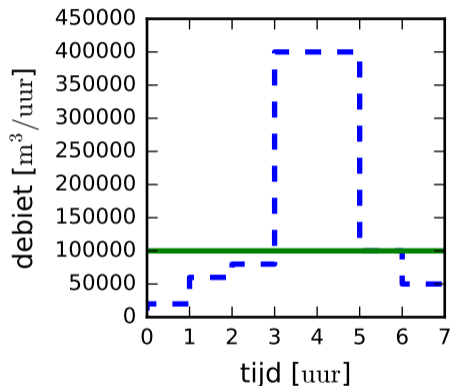
- ▶ Voorspelling neerslag.
- ▶ Neerslag-afvoer model.
- ▶ Wind opzet model boezem.
- ▶ Kwantificering afweging schade voormalen vs. schade hoogwater.
- ▶ Kwantificeren schade hoger peil vs. kosten ongunstige gemaalinzet.
- ▶ Uitstel gemaalinzet tot het „echt” nodig is.



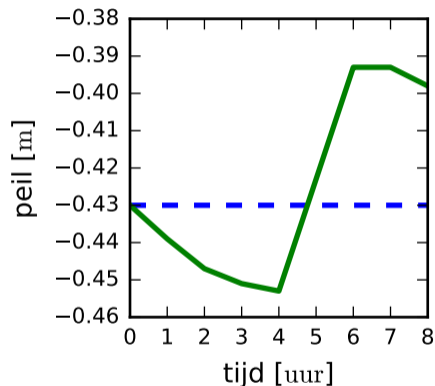
Figuur: Noordzeekanaal bij IJmuiden (Debot, Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0)

- ▶ Blijf binnen peilgrenzen Noordzeekanaal.
- ▶ Blijf binnen toegelaten sluisdebiet.
- ▶ Zet sluis alleen in bij voldoende verval (zoutindringing).
- ▶ Zet oude pompen alleen in bij voldoende verval.
- ▶ Minimaliseer energiegebruik.

- ▶ Boezemoppervlak: 1000 hectare
- ▶ Voorspelde boezembelasting (in 10^6 kubieke meter per uur) is 0,01;0,02;0,06;0,08;0,0;4,0;0,1;0,05 (in mm/uur: 1, 2, 6, 8, 0, 40, 10, 5).
- ▶ Boezem is nu, op 1 april 2022 om 00:00:00 op streefpeil, -0,43m NAP.
- ▶ Pompcapaciteit is $0,1 \times 10^6$ kubieke meter per uur.
- ▶ Peilmarge is +/- 50 mm.
- ▶ Kostenfunctie: $\sum_{j=1}^8 (h_{\text{peil}}(j) - (-0.43))^2$.

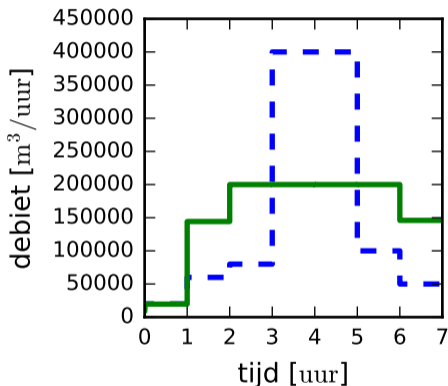


(a) debieten

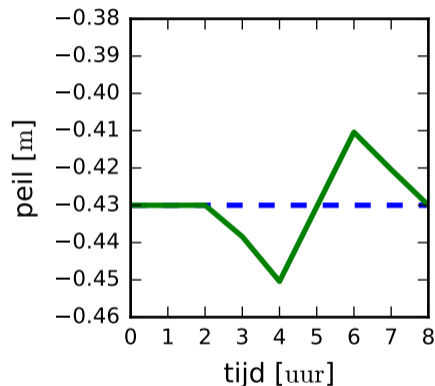


(b) peil

Figuur: $0,1 \times 10^6$ kubieke meter per uur pompcapaciteit



(a) debieten



(b) peil

Figuur: $0,2 \times 10^6$ kubieke meter per uur pompcapaciteit


- ▶ Tijdstap Δt en het aantal stappen tot de horizon n .
- ▶ Voorspelling \tilde{s} van ongestuurde ingangsgrootheden s voor het systeem tot aan horizon.
- ▶ Verzameling van mogelijke stuur acties u tot aan horizon.
- ▶ Model voor systeem gedrag, $x(k+1) = M(x(k), s(k), u(k))$, x is systeemtoestand.
- ▶ Kostenfunctie, die kosten berekent per tijdstap uit de toestand x , voorspelling \tilde{s} en stuur actie u .
- ▶ Opgelegde beperkingen, x wat mag wel en niet met x en u .


- ▶ Voor de gegeven huidige toestand + voorspelling.
 - ▶ Bepaal optimale regelacties tot horizon.
 - ▶ Stuur regelactie *voor eerste tijdstap* naar actuatoren.


- ▶ Verzameling van voorspellingen \tilde{s} van ongestuurde ingangsgrootheden s voor het systeem tot aan horizon. Iedere voorspelling heeft een gegeven kans om op te treden.

- ▶ Voor de gegeven huidige toestand + alle voorspellingen.
 - ▶ Bepaal optimale regelacties tot horizon (kosten = gewogen som van kosten voor voorspellingen met kans op optreden als gewicht).
 - ▶ Stuur regelactie *voor eerste tijdstap* naar actuatoren.

Een goed, maar vrij technisch, boek is [1]. Toepassing in de riolering [3, 2].

- 

Lars Grüne and Jürgen Pannek.
Nonlinear model predictive control.
 Communications and Control Engineering Series. Springer, London, 2011.
 Theory and algorithms.
- 

M. Marinaki and M. Papageorgiou.
Optimal Real-time Control of Sewer Networks.
 Advances in Industrial Control. Springer, London, 2005.
- 

C. Ocampo-Martinez.
Model Predictive Control of Wastewater Systems.
 Advances in Industrial Control. Springer, 2010.