

Avancerade optimeringsansatser i MPC (CENIIT project 11.05)

CENIIT Slutrapport
Johan Löfberg <johan.lofberg@liu.se>

January 31, 2017

1 Främsta vetenskapliga resultat

Det grundläggande arbete kring robust optimering som etablerades tidigt i projektet via arbetet [Löf12a] fick under 2014 en så kallad *Editor's choice*-utnämning, och är idag tidskriftens näst mest lästa artikel on-line någonsin. För att bygga vidare på detta intresse har det arbetats på vidareutvecklingar som är färdigimplementerade men fortfarande inte publicerats [Löf14, Löf16]. Intresset för robust optimering och sagda artikel har gjort att mjukvaruramverket YALMIP som står som en bas för arbetet nu har över 4500 citeringar.

Inom MPC är det främsta resultatet som bör nämnas den teoretiska ansats som introduceras i [Löf12b]. Arbetet attackerar stabilitet och lösbarhetsanalys av MPC-regulatorer, och beskriver en generell strategi baserad på optimering, som dessutom går att utvidga till system med osäkerheter. Arbetet ligger till grund för ytterligare utvidgningar i [SL16].

Andra centrala arbeten är [SLG14] där stabilitetsbevarande strategier för referensföljning i MPC introduceras, [BLM12] som introducerar en av de få metoder som tagits fram för parameterschedulerande MPC, samt användandet av en utvidgad variant av handelsresandeproblemet för att lösa flygplaneringsproblem i [OKML16].

Mindre projekt som kan nämnas är ett samarbete med en forskargrupp vid National Technical University of Athens där semidefinit programmering med helttalsbivillkor tillämpades och utvecklades för att lösa ett problem inom kraftsystem där man skall placera mätpunkter i ett nätverk och garantera observerbarhet [KMXL15], optimeringsbaserad analys av elektromekaniska system [FL16], samt robust optimering för att hantera osäkerheter och riskhantering vid s.k. *futures trading* [LLL⁺15].

2 Examina

Färdigställda examina kopplade till projektet är

1. Peter Rosander, Licentiat 2012.
(Finansierad av Process-industriellt Centrum /SSF)
2. Daniel Simon Licentiat 2014.
(Finansierad av Nationella flygforskningsprogrammet/Vinnova)

3 Examensarbeten

Examensarbeten relevanta ur projektets teoretiska bas är [Lun13] som studerade MPC för styrning av elektromagnetiska rullager på ABB Corporate Research, [LL14] i samarbete med Intuitive Aerial AB som utvärderade MPC på en quadkopter, samt [CI16] som utvärderade heltalsoptimering och MPC för reglering av ugnar på Sandviken AB. I samarbete med Slovak Technical University in Bratislava genomfördes ett teoretiskt examensarbete [Drg12] där alternativa sätt att beskriva hybrida system analyserades.

4 Finansiering

All finansiering har använts av projektledare Johan Löfberg, och projektet har på så sätt använts som ett paraply för all egen forskning inom området, med doktorander finansierade via andra bidrag.

5 Industriellt samarbete

Saab AB

Tillsammans med industridoktoranden Daniel Simon från Saab AB utvidgas klassisk stabilitetsteori för MPC till att även inbegripa situationen då man följer referenssignaler. Arbetet utmynnade 2014 i en Licentiatavhandling [Sim14], samt ett flertal konferensbidrag och tidskriftsartiklar [SLG13, SLG14, SL16, SLH16]. Disputation under 2017 är planerad.

Perstorp AB

I samarbete med Perstorp AB och PIC-LI (Processindustriellt Centrum Linköping) studerade vi t.ex hur de styrlagar som genereras av en avancerad robust MPC-strategi kan användas för att få insikt i hur en enkel PID-regulator bör designas vid reglering av buffertankar med extremt varierande och icke predikterbart inflöde [RILF12a, RILF12b, Ros12].

Lynx fonder

Johan Löfberg blev under sommaren 2015 utvald att delta vid Mittag-Lefflers forskningsprogram *Swedish Study Group Mathematics in Industry* där ca. 25 forskare i samarbete med företagsrepresentater arbetar med konkreta industriella problem. Som ett delproblem utvecklades en strategi för robust optimering för att hantera osäkerhet och riskhantering vid s.k. *futures trading* på företaget Lynx fonder [LLL⁺15].

CISB

Inom ramen för det Svensk-Brasilianska initiativet CISB gjordes ett arbete kring optimeringsbaserad analys av elektromekaniska system [FL16].

6 Samarbete inom CENIIT

Ett kontinuerligt utbyte av idéer och tankar sker med Daniel Axehill (CENIIT projekt 12.09), som även ingår i samarbetsgruppen för NFFP-projektet. Johan Löfberg och Daniel Axehill, samt Anders Hansson, har under 2016 (beslut vår 2017) sökt pengar från Vetenskapsrådet för en större projektsatsning inom MPC.

7 Forskningsgrupp

Då CENIIT-anslaget bara motsvarar en halv tjänst har denna gått till sökande. Forskning inom MPC som varit målet med projektet har sedan finansierats via andra finansiärer, så som fallet varit med Peter Rosander och Daniel Simon via PIC-LI respektive NFFP. Avdelningen som helhet har dock blivit allt mer engagerad i optimeringsbaserad reglering, och med Daniel Axehills CENIIT-anslag och övriga anslag så är vi nu en solid grupp inom området. Förhoppningen är att vi får det tidigare nämnda anslaget från vetenskapsrådet för att kunna bygga vidare på detta.

References

- [BLM12] T. Besselmann, J. Löfberg, and M. Morari. Explicit MPC for LPV Systems: Stability and Optimality. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 57(9):2322–2332, 2012.
- [CI16] H. Carlborg and H. Iredahl. Modeling and temperature control of an industrial furnace. 2016. Masters thesis, Linköping University.
- [Drg12] J. Drgona. Efficient modeling of hybrid systems. 2012. Masters thesis, Slovak Technical University Bratislava.
- [FL16] M. Ferber and J. Löfberg. Efficient worst-case analysis of electronic networks in intervals of frequency. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 2016. Accepted for publication.
- [KMXL15] G. N. Korres, N. M. Manousakis, T. C. Xygkis, and J. Löfberg. Optimal phasor measurement unit placement for numerical observability in the presence of conventional measurements using semidefinite programming. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(15), 2015.
- [LL14] S. Lindblom and A. Lundmark. Modelling and control of a hexarotor uav. 2014. Masters thesis, Linköping University.
- [LLL⁺15] M. Leniec, F. Lindskog, J. Löfberg, G. Malenova, and T. Ryden. Portfolio selection with many assets. *Mittag-Leffler preprint series*, 2015.
- [Löf12a] J. Löfberg. Automatic robust convex programming. *Optimization Methods and Software*, 27(1):115–129, 2012.
- [Löf12b] J. Löfberg. Oops! I cannot do it again: Testing for recursive feasibility in MPC. *Automatica*, 48(3):550–555, 2012.
- [Löf14] J. Löfberg. Auxiliary variables in modeling of robust convex conic optimization problems, 2014. Under preparation.
- [Löf16] J. Löfberg. Robust conic optimization revisited, 2016. Under preparation.
- [Lun13] J. Lundh. Model predictive control for active magnetic bearings. 2013. Masters thesis, Linköping University.
- [OKML16] J. Oravec, M. Klauco, Kvasnica M., and J. Löfberg. Computationally tractable formulations for optimal path planning with interception of target neighbourhoods. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2016. Accepted for publication.
- [RILF12a] P. Rosander, A. Isaksson, J. Löfberg, and K. Forsman. Performance Analysis of Robust Averaging Level Control. In *Proceedings of Chemical Process Control VIII*, 2012.

- [RILF12b] P. Rosander, A. Isaksson, J. Löfberg, and K. Forsman. Practical Control of Surge Tanks Suffering from Frequent Inlet Flow Upsets. In *Proceedings of the IFAC Conference on Advances in PID Control*, 2012.
- [Ros12] P. Rosander. Averaging level control in the presence of frequent inlet flow upsets. Linköping studies in science and technology. 2012. Licentiate Thesis No. 1527.
- [Sim14] D. Simon. Model predictive control in flight control design stability and reference tracking. Linköping studies in science and technology. 2014. Licentiate Thesis No. 1652.
- [SL16] D. Simon and J. Löfberg. Stability analysis of model predictive controllers using mixed integer linear programming. 2016. IEEE 55th Conference on Decision and Control.
- [SLG13] D. Simon, J. Löfberg, and T. Glad. Nonlinear model predictive control using feedback linearization and local inner convex constraint approximations. In *Control Conference (ECC), 2013 European*, pages 2056–2061. IEEE, 2013.
- [SLG14] D. Simon, J. Löfberg, and T. Glad. Reference tracking MPC using dynamic terminal set transformation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 59(11), 2014.
- [SLH16] D. Simon, J. Löfberg, and O. Härkegard. A command governor approach to maneuver limiting in fighter aircraft. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 2016. Accepted for publication.