

Réduction de loi de contrôle explicite pour la supervision de planification de production d'une centrale photovoltaïque

Zinédine TAIEB¹, Guillaume SANDOU², Nicolas VASSET¹, Yacine GAOUA¹, Grégoire PICHENOT¹

¹LITEN CEA, Université Grenoble Alpes Campus INES, le Bourget du Lac, France
{zinedine.taieb, nicolas.vasset, yacine.gaoua, gregoire.pichenot}@cea.fr

²L2S, CentraleSupélec, Université Paris Saclay, Gif-sur-Yvette, France
guillaume.sandou@centralesupelec.fr

Mots-clés : *Energy Management System, MPC – Model Predictive Control, Méthodes d'Apprentissage Automatique, Supervision haut-niveau, PLNE – programmation linéaire en nombres entiers*

1 Introduction et objectif

Dans un souci de décarboner les moyens de production et de consommation, les réseaux énergétiques deviennent de plus en plus complexes à piloter. Ceci justifie l'utilisation de méthodes de gestion avancée, telle que la commande prédictive ou MPC, basé sur la résolution d'un problème d'optimisation sous contraintes, mais dont la mise en œuvre demeure limitée sans ressources matérielles et puissance de calcul suffisantes. Pour tenter de lever ce verrou, une idée possible consiste à déporter hors-ligne tout ou partie de l'optimisation, afin de réduire les coûts de calcul en ligne.

Dans ce travail, une approche d'approximation d'un contrôleur MPC par apprentissage des données de résultats d'optimisation, adaptée de la littérature [1], est menée dans le cas de planification de fourniture d'électricité d'une centrale photovoltaïque. L'approche est étendue : i) à la quantification de l'erreur de l'approximation en fonction des incertitudes d'opérations ; ii) à une analyse de l'impact sur la solution « réduite » de la dégénérescence des solutions d'optimisation utilisées en apprentissage.

2 Méthodologie de réduction de pilotage MPC par apprentissage automatique

Des propriétés sur la structure des solutions d'un problème MPC paramétrique de formulation PLNE ont été établis par [2] ; garantissant entre autre que la loi de commande optimale d'un tel problème, est linéaire par morceaux en fonction des paramètres de l'optimisation. Les paramètres pouvant être l'état du système, des prévisions, des paramètres incertains etc.. Il existe une loi linéaire théorique unique associée à chaque région de l'espace correspondant à un sous-ensemble de contraintes actives du problème MPC paramétrique. Seulement, à mesure que les paramètres et les contraintes du problème augmentent, le temps de calcul nécessaire pour ce partitionnement devient exponentiel [3], rendant l'approche peu utilisable pour des problèmes d'optimisation réalistes.

Pour s'affranchir de cette limite, il est possible de recourir à des méthodes d'apprentissage pour approcher le contrôle explicite théorique. En effet, le partitionnement des régions étant défini par la combinaison des contraintes actives, il est possible d'en faire une approximation en formant, avec une métrique idoine, des sous-groupes de paramètres d'optimisation pour lesquels les variables duales associées aux contraintes ont des valeurs proches. Sur la base de résultats d'optimisation issus du MPC, on procède alors à un clustering des variables duales comme approximation des régions théoriques.

Ensuite, sur chaque cluster obtenu, un modèle de régression linéaire est ajusté entre la commande optimale et les paramètres d'optimisation associés. Ce sera effectivement cet ensemble de loi qui sera appelé en ligne pour estimer la commande en fonction des paramètres courants. Pour ce faire, un modèle de classification doit être également calibré en phase d'apprentissage, pour qu'à une réalisation de paramètres, on puisse en déduire le cluster et la loi linéaire correspondante.

3 Validation numérique et contribution

L'application, tirée d'un appel d'offre de la Commission de Régulation de l'Energie [4], consiste à piloter une batterie d'un parc de production PV pour maximiser les gains de vente d'électricité sur le réseau, en tenant compte des prévisions de productible solaire et des contraintes opérationnelles du cahier des charges. Une optimisation PLNE dans un paradigme MPC sur horizon glissant fait office de contrôleur de référence. Le pilotage est opéré avec des données historiques de productible solaire prédites et mesurées sur une centrale PV. A partir de ces simulations, une base de données est effectivement construite pour la réduction du contrôle par apprentissage, comme mentionné plus haut. Les performances du MPC réduit sont ensuite comparées à celles du MPC de référence sur une base de tests de simulations indépendantes de celles d'apprentissage.

La mise en œuvre de la réduction du pilotage amène à un algorithme plus léger en déploiement, ne faisant finalement appel qu'aux modèles de classification et de régression calibrés hors-ligne. Si le gain économique associé au pilotage réduit peut être légèrement dégradé, le contrôleur réduit reste en général proche de l'original.

Par le biais de différents critères construits, on étudie la qualité du pilotage réduit sous des prévisions dites non parfaites. Il s'agit en l'occurrence d'étudier comment la précision des prévisions influe sur la performance du contrôle réduit. En outre, nous étudions aussi l'impact sur le contrôle réduit de la formulation mathématique originale du problème PLNE, notamment la possibilité que ce problème soit mathématiquement dégénéré. Si cette propriété est souvent rencontrée dans les formulations de problèmes MPC pour ce type d'application, elle peut clairement impacter une procédure de réduction comme celle que nous envisageons.

4 Conclusions

Une méthode d'apprentissage de contrôle optimal a été développée et caractérisée dans le cadre d'un système de supervision énergétique. Les performances de la loi de contrôle soumise à différentes perturbations opérationnelles ont été étudiées. Une étude quant à la portabilité de la méthode sur des pas de temps d'opération plus fins feront l'objet d'une étude ultérieure.

Références

- [1] Yuchong H, Bouffard F, Joós G, 2022 « Integrating learning and explicit model predictive control for unit commitment in microgrids ». Applied Energy 306.
- [2] Bemporad A, Morari M, Dua V, Pistikopoulos E.N, 2000 « The Explicit Solution of Model Predictive Control via Multiparametric Quadratic Programming ». In Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No.00CH36334), 872-76 vol.2. Chicago, IL, USA: IEEE.
- [3] Alessio A, Bemporad A, 2009 « A survey on explicit model predictive control ». Lecture Notes in Control and Information Sciences 384: 345-69.
- [4] CRE, 2017 « Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir de techniques de conversion du rayonnement solaire d'une puissance supérieure à 100kWc situées dans les zones interconnectées », <https://www.cre.fr/appelsoffres/telecharger-le-cahier-des-charges-pv-stockage-zni>