Optimisation distribuée et système multi-agents: application aux réseaux de distribution d'électricité

Encadrement : Patrick Coirault, Emmanuel Moulay
Laboratoire : Laboratoire d'Automatique et d'Informatique pour les Systèmes (LIAS)
Mots clés : systèmes multi-agents, optimisation distribuée, réseaux d'énergie

Sujet :
Cette thèse s'intéresse au développement de méthodes d'optimisation lorsque les données sont distribuées à travers un réseau de communication. C'est par exemple le cas des grands réseaux (réseau de distribution d'électricité, réseaux de capteurs, …) pour lesquels chaque nœud (agent) du réseau n'a accès qu'à ses propres informations et à celles des agents voisins et ne dispose que d'une vision locale de la topologie du réseau. A partir des informations dont il dispose, chaque agent prend une décision respectant des contraintes locales et la communique à ses voisins.

Les approches distribuées, que ce soit en contrôle ou en optimisation, suscitent un intérêt de plus en plus marqué dès lors que l'on s'intéresse à la gestion et à l'optimisation des systèmes en réseau, et plus particulièrement des grands réseaux. C'est le cas des réseaux de distribution d'électricité de nouvelle génération (smartgrid).

L'optimisation utilisant le formalisme des multi-agents est une récente contribution à la théorie de l'optimisation. Cette branche de l'optimisation est actuellement en plein développement, stimulée par des nouvelles applications liées aux réseaux. Les méthodes d'optimisation classiques se basent sur le principe que toutes les données sont accessibles en un seul point. Ce principe s'applique plus difficilement aux grands réseaux où chaque agent n'a accès qu'à une information locale et n'a qu'une vue locale du réseau. Le modèle est distribué et une optimisation basée sur une approche distribuée est mieux adaptée dans ce cas du fait :

- du nombre important d'agents et des moyens de communication nécessaires pour les coordonner,
- qu'une architecture centralisée est moins robuste aux pannes et aux cyber-attaques,
- que l'évolutivité du réseau est naturellement prise en compte

Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes
Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers
2 rue Pierre Brousse - Bât. B25
BP 633 - 86022 Poitiers cedex
Tél labo: 33 (0)5 49 45 35 09, Fax : 33 (0)5 49 45 40 34
Web: http://lias-lab.fr - Courriel: lias@univ-poitiers.fr

Cette thèse a comme objectifs :

- de développer de nouvelles méthodologies d'optimisation distribuées basées sur le formalisme des systèmes multi-agents (SMA),
- d'appliquer ces résultats théoriques aux réseaux de distribution d'électricité. Les approches d'optimisation distribuée peuvent potentiellement être utilisées pour un grand nombre d'applications réseaux telles que le problème du flux de puissance optimal dans un réseau, le contrôle de la fréquence, le contrôle de la tension, la gestion des flux de puissance entre microgrid, …

Le premier objectif de la thèse sera de faire une bibliographie exhaustive sur les techniques d'optimisation distribuée utilisant le formalisme des systèmes multi-agents [3]. On s'intéressera en particulier aux travaux développés dans ce cadre par Nedic et Ozdaglar au MIT [1,2] dans le cas où le problème est convexe mais pour lesquels la fonction n'est pas toujours différentiable. La méthode de gradient discontinu [7] pourra être utilisée pour améliorer les résultats d'Ozdaglar. Les résultats récents obtenus sur le consensus des SMA [4,5,6] seront également mis à profit. D'autres approches telles que les méthodes proximales [8] pourront être testées durant la thèse comme alternative aux méthodes de sous-gradient.

Le deuxième objectif de la thèse sera d'appliquer les résultats théoriques obtenus aux réseaux d'énergie en simulation sur Matlab ou sur un simulateur dédié. L'arrivée croissante de Ressources Énergétiques Distribuées (RED) dans le réseau électrique telles que les sources de production (photovoltaïques, éoliennes, thermiques, …), les unités de stockage (chimiques, thermiques, hydrauliques, …), les charges contrôlées (véhicules électriques, systèmes d'air conditionné, applications intelligentes, …) conduit à la mutation d'un réseau centralisé vers un réseau décentralisé. Ces ressources, généralement situées du côté du consommateur, induisent des flux de puissance bidirectionnels entre le réseau et le consommateur. L'impact sur le réseau de ces ressources de plus en plus nombreuses pose des problèmes à la fois de contrôle de la stabilité du réseau et d'optimisation. En particulier, le caractère intermittent de certaines sources d'énergie renouvelables est un facteur déstabilisant pour le réseau. Pour profiter pleinement des avantages de ces ressources sans pour autant dégrader la qualité de l'énergie et la stabilité du réseau, l'idée est de mettre en place une gestion coordonnée de ces ressources agrégées en cluster, chaque cluster apparaissant alors comme une entité fournissant des ressources au réseau global. Cela nécessite le développement d'approches distribuées capables de répondre aux contraintes suivantes tout en assurant un modèle économique viable [10, 11]:

- une production d'énergie renouvelable aléatoire et distribuée associée à une demande difficilement prévisible, ce qui complexifie l'adaptation de la production à la consommation, et conduit à des pénalités pour le gestionnaire
- l'hétérogénéité des charges contrôlées et des stockages, qui nécessitent des nouvelles modélisations pour tirer parti de leur flexibilité
- le manque de mesures à travers le réseau
- l'évolutivité du réseau

Un SMA est par nature distribué, ce qui permet:

- de limiter les communications d'un agent à ses voisins
- de rendre robuste (résilience du réseau) le réseau à des pannes locales
- l'ajout ou le retrait de parties du réseau est pris automatiquement en compte sans qu'il soit nécessaire de relancer l'optimisation sur un nouveau schéma. C'est un des points les plus intéressants dès lors que l'on considère des réseaux de grande taille

- de simplifier le problème d'optimisation: la taille du problème d'optimisation est égale au nombre de voisins dans un voisinage et non pas au nombre total d'agents, la convergence vers une solution commune (consensus entre les agents) est assurée par un autre mécanisme inhérent au SMA

L'optimisation distribuée est utilisée entre autres pour l'allocation optimale de ressources entre microgrid, pour la stabilité en fréquence et en tension d'un réseau avec éléments de stockage et sources renouvelables, ce qui est naturel puisque les réseaux d'énergie intègrent de plus en plus des éléments distribués. L'application à l'optimisation d'un schéma d'exploitation reste prospective mais intéressante. Cette thèse, bien que son orientation soit axée sur le développement de nouvelles techniques d'optimisation distribuées basées sur un formalisme multi-agents, s'appliquera à montrer l'intérêt et la faisabilité de ces approches pour la gestion des réseaux de distribution d'électricité du futur en accord avec les objectifs du LabCom ALIENOR.

Références

1. A. Nedic and A. Ozdaglar. "Distributed subgradient methods for multi-agent optimization." *IEEE Transactions on Automatic Control* 54.1 (2009)
2. A. Nedic, A. Ozdaglar and P. A. Parrilo. "Constrained consensus and optimization in multi-agent networks." *IEEE Transactions on Automatic Control* 55.4 (2010): 922-938.
3. W. Ren and R.W. Beard. Distributed consensus in multi-vehicle cooperative control. *Springer*, 2008.
4. S. A. Ajwad, T. Ménard, E. Moulay, M. Defoort and P. Coirault "Observer based leader-following consensus of second-order multi-agent systems with nonuniform sampled position data." *Journal of the Franklin Institute* 356.16 (2019): 10031-10057.
5. F. Isfoula, P. Coirault, E. Bernuau, E. Moulay, Q. Liu and Q. Hui "Practical consensus tracking of multi-agent systems with linear controllers." *18th European Control Conference*. IEEE, 2019.
6. E. Bernuau, E. Moulay, P. Coirault and F. Isfoula, "Practical Consensus of Homogeneous Sampled-Data Multiagent Systems." *IEEE Transactions on Automatic Control*, 64.11 (2019): 4691-4697
7. E. Moulay, V. Léchappé, and F. Plestan. "Properties of the sign gradient descent algorithms." *Information Sciences* 492 (2019): 29-39.
8. D. P. Bertsekas, "Incremental proximal methods for large scale convex optimization." *Mathematical programming* 129.2 (2011): 163.
9. F. Guo, C. Wen, Y.D. Song, "Distributed control and optimization technologies in smartgrid systems", Taylor & Francis, 2018
10. Daniel K. Molzahn, Florian Dorfler, Henrik Sandberg, Steven H. Low, Sambuddha Chakrabarti, Ross Baldick, Javad Lavaei, "A Survey of Distributed Optimization and Control Algorithms for Electric Power Systems", IEEE Trans. On Smart Grid, 8(6), pp. 2941-2963, 2017
11. Tao Yang, Xinlei Yi, Junfeng Wu, Ye Yuan, Di Wu, Ziyang Meng, Yiguang Hong, Hong Wang, Zongli Lin, Karl H. Johansson, A survey of distributed optimization", Annual Reviews In Control, pp. 278-305, 2019

Profil souhaité :

Le candidat devra posséder de bonnes connaissances en mathématiques et en théorie des systèmes. Une bonne connaissance de Matlab est nécessaire. Un bon niveau en français et en anglais est fondamental.

Documents à fournir :

- Curriculum Vitae et lettre de motivation,

- Notes de Master,
- Score au TOEIC ou équivalent,
- Tout autre document jugé nécessaire par le candidat pouvant enrichir le dossier de candidature.

Contacts :
patrick.coirault@univ-poitiers.fr, emmanuel.moulay@univ-poitiers.fr