

Commande prédictive des centrales solaires photovoltaïques équipées de batteries

Julien Eynard (julien.eynard@univ-perp.fr), Stéphane Thil (stephane.thil@univ-perp.fr) et Stéphane Grieu (grieu@univ-perp.fr)

Mots clés

Solaire photovoltaïque, centrales solaires photovoltaïques hybrides, stockage électrique, éclairage global horizontal, apprentissage automatique/profond, vision par ordinateur, automatique avancée.

Contexte

PROMES (« Procédés, Matériaux et Énergie Solaire »), une unité propre de recherche du CNRS (UPR 8521) conventionnée avec l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD), structure ses activités autour de l'énergie solaire et de sa valorisation. Par ailleurs, la start-up SESA (pour « Solar Energy Systems Analytics »), créée en novembre 2021, a pour ambition de valoriser les activités de recherche du laboratoire (axe thématique CSPG, pour « Centrales Solaires de Prochaines Générations ») en matière de pilotage des systèmes ayant trait à l'énergie solaire (les centrales solaires photovoltaïques et thermodynamiques, en particulier). Le déploiement du solaire photovoltaïque en France est à l'origine de besoins en matière d'instrumentation et de suivi des installations. SESA cible deux marchés en forte croissance : les centrales solaires photovoltaïques équipées de batteries, dites hybrides, et les centrales solaires photovoltaïques équipées de suiveurs solaires. Dans ce contexte, le sujet de thèse proposé traite, d'une part, de la prévision à court terme de la production électrique des centrales solaires photovoltaïques – les prévisions de production seront obtenues à partir de prévisions de l'éclairement global horizontal ; la détection de rampes sera au cœur des algorithmes développés – et, d'autre part, de la commande prédictive des centrales solaires photovoltaïques équipées de batteries pour le stockage de l'énergie électrique. SESA valorisera les développements réalisés. Les missions confiées au doctorant sont décrites en détails ci-après (section « Missions »). Les travaux proposés seront financés en cas de succès du candidat au concours de l'ED 305 « Énergie et environnement », organisé au mois de juin 2022.

Laboratoire d'accueil (www.promes.cnrs.fr)

Le laboratoire PROMES (Procédés, Matériaux et Énergie Solaire), une unité propre de recherche du CNRS (UPR 8521) conventionnée avec l'Université de Perpignan Via Domitia, rassemble environ 150 personnes autour d'un sujet fédérateur : l'énergie solaire et sa valorisation. Ses activités de recherche, pluridisciplinaires, sont structurées selon trois axes thématiques : Matériaux pour l'Énergie et l'Espace (MEE), Centrales Solaires de Prochaines Générations (CSPG) et Stockage et Chimie Solaire (SCS). Sont en particulier abordés au sein de l'axe thématique CSPG, la prévision multi-horizon de la ressource solaire et le contrôle-commande avancé des centrales solaires (photovoltaïques/thermodynamiques) possiblement équipées de systèmes de stockage.

Missions

Deux missions principales seront confiées au doctorant recruté :

1. Le développement d'algorithmes, à coût calculatoire maîtrisé, pour la prévision à court terme (jusqu'à une dizaine de minutes) de l'éclairement global horizontal (ou GHI, pour Global Horizontal Irradiance). Le GHI est la somme de l'éclairement direct (des photons n'ont pas interagi avec l'atmosphère lors de leur trajet jusqu'à un observateur) et de l'éclairement diffus (des photons qui ont interagi avec l'atmosphère lors de leur trajet jusqu'à un observateur), mesuré sur une surface horizontale. Les algorithmes à développer tireront profit de mesures ainsi que d'images du ciel à haute dynamique (ou HDR, pour High Dynamic Range) – une dynamique élevée est nécessaire afin de préserver l'information apportée par ces images, en particulier dans la région circumsolaire – générées par une caméra à grand angle de champ (ou sky imager). Ces images renseignent sur la présence de perturbations atmosphériques et sur l'influence de ces perturbations sur la ressource solaire disponible au sol et, par conséquent, sur la production solaire photovoltaïque. Des mesures

du GHI, tout comme des images du ciel (PROMES-CNRS dispose de plusieurs caméras à grand angle de champ), sont disponibles en nombre au laboratoire (site de Perpignan-Tecnosud, site d'Odeillo, etc.) et seront mises à profit pour le développement des algorithmes de prévision. Une attention toute particulière sera portée à la détection de « rampes » (de brusques variations de la ressource solaire conduisant à de brusques variations de la production électrique des centrales solaires photovoltaïques). Les observations atmosphériques disponibles (des images du ciel), tout comme, éventuellement, des données météorologiques – des stations météo sont installées sur site, à Perpignan-Tecnosud et à Odeillo (sur le site du grand four solaire) –, seront mises à profit afin de maximiser l'efficacité des algorithmes développés à détecter des rampes ; la détection de rampes est primordiale dès lors qu'il s'agit de décider de la mise en route d'un générateur d'appoint en cas de chute de la production solaire photovoltaïque ou pour gérer le stockage et le déstockage de l'énergie électrique. Des modèles, dont il conviendra de fixer les paramètres (pour une centrale solaire photovoltaïque donnée), permettront, à partir de prévisions du GHI, de prédire, pour les horizons de temps considérés, la production électrique (jusqu'à une dizaine de minutes).

2. Le développement d'algorithmes, à coût calculatoire maîtrisé, pour le contrôle/commande avancé des centrales solaires photovoltaïques équipées de batteries. La stratégie proposée sera fondée sur la théorie de la commande prédictive (ou MPC, pour Model-based Predictive Control) et tirera profit des prévisions à court terme de la production électrique. Le stockage et le déstockage de l'énergie électrique seront optimisés. En cas de chute anticipée de la production solaire photovoltaïque, la mise en route d'un générateur d'appoint sera décidée. Un modèle de simulation, paramétrable, tout comme un modèle dynamique (utilisé en tant que modèle de commande par le contrôleur MPC), seront développés. Des simulations permettront de valider la stratégie de contrôle proposée. Les performances de la stratégie seront évaluées, en prenant comme stratégie de référence une stratégie, non prédictive, fondée sur des règles.

Compétences recherchées

Des compétences éprouvées en programmation scientifique (Python, Matlab), intelligence artificielle (apprentissage automatique/profond, vision par ordinateur, etc.), sciences des données, traitement du signal et de l'image et automatique avancée (théorie de la commande prédictive) sont recherchées. Le doctorant devra par ailleurs être à l'aise avec la langue anglaise, tant à l'écrit qu'à l'oral.

Conditions

Le doctorant sera accueilli au laboratoire PROMES-CNRS, site de Perpignan-Tecnosud (rambla de la thermodynamique, 66100 Perpignan). Sa rémunération mensuelle est fixée par l'arrêté ministériel du 11 octobre 2021 modifiant l'arrêté du 29 août 2016, soit 2135 € brut. Le doctorant aura accès aux ressources informatiques du laboratoire (logiciels, serveur de calcul).

Contacts

Julien Eynard, julien.eynard@univ-perp.fr.

Stéphane Thil, stephane.thil@univ-perp.fr.

Stéphane Grieu, grieu@univ-perp.fr.

Predictive control of solar photovoltaic power plants equipped with batteries

Keywords

Solar photovoltaics, hybrid solar photovoltaic power plants, electrical storage, global horizontal irradiance, artificial intelligence, machine/deep learning, computer vision, advanced automatic control.

Context

PROMES ("Processes, Materials and Solar Energy"), a CNRS own research unit (UPR 8521) which is under agreement with the University of Perpignan Via Domitia (UPVD), structures its activities around

solar energy promotion. In addition, the start-up SESA (for "Solar Energy Systems Analytics"), created in November 2021, aims to promote the research activities of PROMES-CNRS (thematic axis CSPG "Next Generation Solar Power Plants") dealing with the management of solar energy based systems (solar photovoltaic and thermodynamic power plants, in particular). In France, the deployment of solar photovoltaics leads to needs of instrumentation and monitoring solutions. SESA is targeting two fast-growing markets: solar photovoltaic power plants equipped with batteries, known as hybrid solar photovoltaic power plants, and solar photovoltaic power plants equipped with solar trackers. In this context, the proposed PhD thesis deals, on the one hand, with the short-term forecast of the power generation of solar photovoltaic power plants – power generation forecasts will be obtained from Global Horizontal Irradiance (GHI) forecasts; ramp detection will be of paramount importance for the developed algorithms – and, on the other hand, the predictive control of solar photovoltaic power plants equipped with batteries for electricity storage. SESA will promote the developments made. The missions entrusted to the PhD student are described in detail below ("Missions" section). The proposed work will be funded if the candidate is successful in the ED 305 "Energy and environment" competition, organized in June 2022.

Host laboratory (www.promes.cnrs.fr)

The PROMES laboratory ("Processes, Materials and Solar Energy"), a CNRS own research unit (UPR 8521) under agreement with the University of Perpignan Via Domitia, rallies about 150 people around a unifying topic: solar energy and its promotion. Its multidisciplinary research activities are structured along three thematic axes: Materials for Energy and Space (MEE), Next Generation Solar Power Plants (CSPG) and Storage and Solar Chemistry (SCS). In the CSPG thematic axis, both the solar resource multi-horizon forecast and the advanced automatic control of solar (photovoltaic/thermodynamic) power plants, possibly equipped with storage systems, are addressed.

Missions

Two main missions will be entrusted to the PhD student:

1. The development of computationally-tractable algorithms for short-term GHI forecasting (up to ten minutes). GHI, which is the global irradiance measured on a horizontal surface, is the sum of direct irradiance (photons that did not interact with the atmosphere on their way to the observer) and diffuse irradiance (photons that did interact with the atmosphere on their way to the observer). The algorithms to be developed will take advantage of both measurements and high dynamic range (HDR) sky images – HDR imaging allows to preserve the information provided by sky images, in particular the key information that comes from the circumsolar area – generated by a ground-based camera (a sky imager). Those sky images provide information regarding the presence of atmospheric disturbances and the influence these disturbances have on the availability of the solar resource at ground level and, consequently, on solar photovoltaic power generation. GHI measurements, as well as sky images (PROMES-CNRS has several sky imagers installed), are available in large numbers at PROMES-CNRS (Perpignan-Tecnosud, Odeillo, etc.) and will be useful for the development of forecasting algorithms. Particular attention will be paid to the detection of "ramps" (sudden changes in GHI, leading to sudden changes in solar photovoltaic power generation). Atmospheric observations (HDR sky images), as well as, possibly, meteorological data – weather stations are installed on site, in Perpignan-Tecnosud and Odeillo (at the Odeillo's solar furnace) – will be used in order to maximize the algorithms' ramp detection efficiency; ramp detection is essential when it comes to deciding whether to start up a back-up generator in case of a drop in solar photovoltaic power generation or to efficiently manage the storage and release of electrical energy. Models, the parameters of which will be set (for a given solar photovoltaic power plant), will make it possible, based on GHI forecasts, to predict solar photovoltaic power generation for the considered time horizons (up to ten minutes).
2. The development of computationally-tractable algorithms for the advanced automatic control of solar photovoltaic power plants equipped with batteries. The proposed strategy will be based on

Model-based Predictive Control (MPC) and will take advantage of short-term solar photovoltaic power generation forecasts. The storage and release of electrical energy will be optimized. In case of an anticipated drop in solar photovoltaic power generation, the start-up of a backup generator will be decided. A configurable simulation model as well as a dynamic model – this dynamic model will be used as a control model by the MPC controller – will be developed. Simulations will validate the proposed predictive control strategy. The performance of the strategy will be evaluated, taking a rule-based non-predictive strategy as a reference strategy.

Targeted skills

Proven skills in scientific programming (Python, Matlab), artificial intelligence (machine/deep learning, computer vision, etc.), data science, signal and image processing and advanced automatic control (model-based predictive control) are sought. The PhD student must also be comfortable with the English language, both written and spoken.

Conditions

The PhD student will be hosted at the PROMES-CNRS laboratory, Perpignan-Tecnosud site (rambla de la thermodynamique, 66100 Perpignan). His monthly remuneration is set by the ministerial decree of October 11, 2021, modifying the decree of August 29, 2016, i.e. €2,135 gross. The PhD student will have access to PROMES-CNRS's IT resources (software, calculation server).

Contacts

Julien Eynard, julien.eynard@univ-perp.fr.

Stéphane Thil, stephane.thil@univ-perp.fr.

Stéphane Grieu, grieu@univ-perp.fr.