
M2 ATSI - MASTER E3A

Automatique, Traitement du Signal et des Images Control, Signal and Image Processing

Année 2023-2024

Responsables : Hugues Mounier & François Orieux

DESCRIPTIF DE LA FORMATION

Le M2 ATSI (Automatique, Traitement du Signal et des Images) a pour objectif de dispenser une formation permettant aux étudiants d'aborder des sujets de recherche académique ou industrielle de haut niveau scientifique, dans les domaines de l'automatique et de la commande des systèmes, du traitement du signal et des images. Les enseignements portent sur les fondements méthodologiques et sur les développements récents, qui interviennent directement ou indirectement dans de nombreuses disciplines telles que l'optique, la médecine, la robotique, l'énergie, l'automobile, ... La formation permet également aux étudiants de se former aux métiers de la recherche grâce à des dispositifs pédagogiques dédiés (séminaires, travail bibliographique, projet, etc.) et une forte implication des laboratoires de recherche associés. Une partie de la formation est dispensée en anglais.

Le M2 ATSI fait partie de la mention de Master E3A de l'Université Paris-Saclay. Ce M2 est également ouvert à un recrutement externe, notamment dans le cadre de double-diplômes avec des écoles d'ingénieur (CentraleSupélec, IOGS), ou pour des étudiants venant d'autres parcours nationaux ou internationaux. A ce titre il s'adresse à des étudiants ayant des compétences solides dans les domaines de l'ingénierie, en particulier maîtrisant et appréciant les aspects théoriques. Il est aussi ouvert aux étudiants issus de cursus mathématiques et éventuellement informatiques ayant un goût particulier pour les applications.

Hugues Mounier & François Orieux

Responsable des enseignements Masters 2 - ATSI

CentraleSUPELEC - L2S - Bat. Breguet Plateau de Moulon 91192 Gif-sur-Yvette Cedex

Les étudiants ayant suivi ce parcours auront des débouchés aussi bien dans l'enseignement et la recherche que dans l'industrie. Une partie des étudiants pourra poursuivre une formation à la recherche sous forme de thèses de doctorat dans des environnements académiques ou industriels (thèse CIFRE). Une autre partie pourra assumer la fonction d'ingénieur de recherche au sein des équipes de R&D de l'industrie et des laboratoires spécialisés ayant des besoins dans les domaines de l'automatique et la commande de systèmes, du traitement du signal et du traitement des images ou de la science des données.

Hugues Mounier & François Orioux

Responsable des enseignements Masters 2 - ATSI

CentraleSUPELEC - L2S - Bat. Breguet Plateau de Moulon 91192 Gif-sur-Yvette Cedex

PROGRAMME

1^{er} Semestre

2 UEs obligatoires (bloc 1) :

- Outils mathématiques pour l'automatique, le traitement du signal et des images
- Initiation à la recherche

4 UEs au choix (bloc 2) parmi :

- Commande des systèmes linéaires multivariables
- Estimation
- Optimisation
- Représentation des signaux et codage parcimonieux
- Stabilité des systèmes non-linéaires
- Traitement du signal et systèmes d'imagerie

2^{ème} Semestre

4 UEs au choix (bloc 3) parmi :

- Apprentissage automatique
- Commande prédictive
- Contrôle et propriétés structurelles des systèmes non-linéaires
- Contrôle pour la robotique
- Estimation robuste pour le traitement du signal
- Imagerie médicale
- Méthodes avancées en traitement d'image
- Problèmes inverses
- Systèmes hybrides
- Systèmes multi-agents

1 stage (bloc 4) d'une durée minimale de 4 mois dans un environnement académique ou industriel.

DESCRIPTIF DES ENSEIGNEMENTS (1^{er} Semestre)

Outils mathématiques pour l'automatique, le traitement du signal et des images

Responsable : Christophe Vignat

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 24h CM

L'objectif de ce cours est de permettre aux étudiants de maîtriser le socle mathématique nécessaire pour aborder des sujets de recherche académique ou industrielle, dans les domaines de l'automatique et de la commande des systèmes, du traitement du signal et du traitement des images.

Plan de l'UE :

Optimisation et équations différentielles

- Optimisation sans et avec contraintes (algorithmes du gradient et de Newton) ; Conditions de Karush-Kuhn-Tucker
- Equations différentielles ordinaires non linéaires (conditions d'existence et d'unicité)
- Stabilité ; Fonctions de Lyapunov

Probabilités

- Espace probabilisé, événements, indépendance ; variables aléatoires ; séquences d'événements, événements extrêmes, Borel-Cantelli
- Valeurs moyennes, moments, corrélation, fonction d'une variable aléatoire, espérance conditionnelle ; fonction de répartition, densité de probabilité, fonction caractéristique, fonction génératrice des moments et leurs inverses ; Distributions classiques continues et discrètes
- Inégalités de Markov, Chebychev ; types de convergence, faible, en probabilité, presque sûre, lois faibles et fortes des grands nombres, théorème de convergence dominée, théorème central limite, loi du logarithme itéré

Algèbre:

- Types de matrices : rectangulaires, carrées, symétriques, Hermitiennes, orthogonales, unitaires, définies positives, Hankel, Toeplitz, circulantes, VanderMonde, diagonales, triangulaires, bloc-diagonales
- Algèbres de matrices: produit, vectorialisation, invariants (déterminant, trace, rang), multiplication bloc ; factorisations matricielles : Jordan, diagonalisabilité, triangularisabilité, Schur, QR, Cholesky, LU, décomposition spectrale, décomposition en valeurs singulières ; moindres carrés, pseudo-inverse, équations normales
- Applications: exponentielles de matrices, systèmes d'équations différentielles

Initiation à la recherche

Responsables : Hugues Mounier & François Orieux

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 24h CM

Ce module a pour but d'initier les étudiants à un travail de recherche dans le domaine de l'automatique, du traitement du signal et des images, à travers le dispositif suivant :

- 8 séminaires sur des sujets de recherche actuels
- Un travail bibliographique en lien avec un des séminaires
- Un mini-projet en équipe

Commande des systèmes linéaires multivariables

Responsable : Sihem Tebbani

Langue d'enseignement : Français

Volume horaire : 20h CM + 6h TD

Le but de ce cours est de fournir des bases solides pour l'analyse et la commande des systèmes linéaires multivariables (systèmes MIMO : multi-input, multi-output), en utilisant à la fois la représentation d'état et la représentation par fonction de transfert. Les principales méthodes abordées relèvent de la commande et de l'estimation optimales, de l'analyse de robustesse et de la commande H-infini. L'idée générale est de fournir tous les moyens permettant une application sur des systèmes réels (qui peuvent relever de domaines très divers tels la robotique, l'optique, l'automobile, l'aéronautique..., cette liste n'étant pas limitative), avec une ouverture sur les problématiques de recherche.

Bibliographie

- [1] B.D.O. Anderson, J.B. Moore, Linear Optimal Control, Ed. Prentice-Hall, 1990.
- [2] H. Kwakernaak, R. Sivan, Linear optimal control systems, Ed. Wiley, 1972.
- [3] P. de Larminat, Commande des Systèmes Linéaires, Ed. Hermès, 1993.
- [4] G. Duc, S. Font, Commande H-infini et mu-analyse, des outils pour la robustesse, Ed. Hermès, 1999.
- [5] S. Skogestad and I. Postlethwaite. Multivariable Feedback Control: Analysis and Design. Ed. John Wiley and Sons, 1996, 2005.
- [6] K. Zhou, J.C. Doyle, K. Glover, Robust and Optimal Control, Ed. Prentice-Hall, 1996.

Estimation

Responsable : Michel Kieffer

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 24h CM

La construction de modèles paramétriques et la détermination des valeurs des paramètres est au centre de l'activité des ingénieurs et chercheurs qui souhaitent analyser des phénomènes physiques, construire des capteurs logiciels, détecter des défauts d'un système, simuler un processus, évaluer une commande ... L'objectif de ce cours est de sensibiliser les étudiants aux difficultés liées à la démarche de modélisation et d'identification paramétrique, difficultés dont ils n'ont souvent pas conscience. Ainsi, il s'agira de soulever et d'apporter des éléments de réponses aux questions suivantes : Pourquoi construire un modèle paramétrique d'un système ? Pour une structure de modèle donnée, sera-t-il possible de déterminer la valeur de ses paramètres de manière unique ? Lorsque deux structures de modèles sont concurrentes, sera-t-il possible de les distinguer ? Une fois la structure du modèle choisie, compte-tenu des connaissances a priori disponibles, comment choisir le critère qui va permettre d'estimer les paramètres du modèle ? Comment déterminer la valeur optimale de ces paramètres ? Un jeu de paramètres a été obtenu, mais est-ce réellement le seul possible ? Comment quantifier l'incertitude de détermination des valeurs des paramètres ? Comment organiser la collecte des données pour obtenir la meilleure précision sur les paramètres ?

Bibliographie

- [1] S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Processing, Volume I: Estimation Theory, Prentice Hall, 1993.
- [2] E. Walter and L. Pronzato, Identification of Parametric Models: From Experimental Data, Springer, 1997.
- [3] E. Walter, Numerical methods and optimization: a consumer guide, Springer, 2014.
- [4] L. Ljung and T. Glad, Modeling & Identification of Dynamic Systems, Prentice Hall, 2016.

Optimisation

Responsables : Laurent Le Brusquet & Jean-Christophe Pesquet

Langue d'enseignement : Français

Volume horaire : 15h CM + 13,5h TD-TP

L'objectif de ce cours est de fournir les concepts de bases en optimisation tant du point de vue théorique que pratique. L'accent est mis sur les méthodes d'optimisation continue qui jouent un rôle tout aussi crucial en traitement du signal et des images qu'en automatique. Ces méthodes couvrent l'ensemble des domaines d'applications où l'on cherche à avoir une approche quantitative basée sur des critères de performances. On mentionnera, en particulier, la résolution de problèmes inverses, l'apprentissage, l'identification de systèmes complexes, le contrôle optimal, ... Dans tous ces domaines, il est non seulement nécessaire de savoir employer des algorithmes d'optimisation efficaces, mais aussi de réfléchir à la structure du problème d'optimisation posé.

Bibliographie

[1] D. P. Bertsekas, *Nonlinear Programming*, 3rd Edition. Athena Scientific, 2016. ISBN:978-1-886529-05-2

[2] H.H. Bauschke and P. L. Combettes, *Convex Analysis and Monotone Operator Theory in Hilbert Spaces*, 2nd Edition. Springer, 2017. ISBN: 978-3-319-48311-5

Représentation des signaux et codage parcimonieux

Responsable : Matthieu Kowalski

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

L'objectif de ce cours est de permettre aux étudiants de connaître différentes représentations des signaux (Temporelle, Fréquentielle, temps-fréquence et temps-échelle), avec leurs spécificités. Il présentera l'intérêt des bases orthonormées et des trames pour la parcimonie ainsi que les principaux algorithmes permettant d'obtenir une décomposition parcimonieuse. L'intérêt de la parcimonie sera illustré sur un problème inverse particulier, l'acquisition comprimée. Enfin une ouverture vers l'apprentissage de dictionnaire pour une classe de signaux et l'utilité dans les problèmes inverses sera proposée.

Bibliographie

[1] Mallat, S. (1999). *A wavelet tour of signal processing*. Elsevier.

[2] Foucart, S., & Rauhut, H. (2017). A mathematical introduction to compressive sensing. *Bull. Am. Math*, 54, 151-165.

Stabilité des systèmes non-linéaires

Responsable : Giorgio Valmorbida

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 24h CM

L'objectif de ce cours est de fournir des outils pour l'analyse de systèmes dynamiques non linéaires modélisés par des équations différentielles ordinaires. Ceux-ci incluent des systèmes d'ingénierie, tels que des systèmes robotiques, automobiles et aérospatiaux, mais également des systèmes biologiques et socio-économiques. Un aspect clé de ces équations est que leur nature non linéaire empêche généralement le calcul d'une solution explicite. De plus, les méthodes fréquentielles couramment utilisées pour les systèmes linéaires ne s'appliquent pas dans ce contexte. Nous nous appuyons sur la théorie de la stabilité pour évaluer le comportement qualitatif des systèmes dynamiques. Ce cours présente des concepts de stabilité et des outils d'analyse spécifiques pour les systèmes non linéaires. De plus, au-delà de la stabilité, ces outils permettent également d'étudier la performance des systèmes, la robustesse aux perturbations et les interconnexions.

Bibliographie

[1] Nonlinear Systems, Hassan Khalil, Pearson (3rd ed) 2001.

[2] Nonlinear Systems Analysis, M. Vidyasagar, SIAM Classics in Applied Mathematics (2nd edition), 2002.

[3] Ordinary Differential Equations, Part II, N. Rouche and J. Mawhin (Translation from : Équations Différentielles Ordinaires Tome II: Stabilité et Solutions Périodiques. Rouche, Nicolas, and Jean Mawhin. Paris: Masson, 1973).

Traitement du signal et systèmes d'imagerie

Responsable : François Goudail

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

Ce cours introduit les bases de la théorie de l'estimation et de la détection. Afin d'en faciliter l'assimilation et d'en faire comprendre l'importance pratique, chacun des concepts introduits est illustré sur des problématiques réelles en imagerie optique et en traitement d'images. Cette approche pédagogique permet en particulier de rendre plus concrète les notions centrales de bruit et d'optimalité des traitements. L'objectif est qu'à l'issue de ce cours, un étudiant soit capable de formuler de manière précise et rigoureuse un problème d'extraction de l'information dans un signal ou une image bruitée, de résoudre ce problème de manière optimale, et d'évaluer les performances de la méthode ainsi conçue.

Bibliographie

[1] Ph. Réfrégier, *Noise Theory and Application to Physics: From Fluctuations to Information* (Springer, New-York, 2004).

[2] S. M. Kay, *Fundamentals of statistical signal processing - Volume I : Estimation Theory* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993).

[3] S. M. Kay, *Fundamentals of statistical signal processing - Volume II : Detection Theory* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993).

[4] F. Goudail, Ph. Réfrégier, *Statistical image processing techniques for noisy images: an application oriented approach*, (Kluwer Academic, New York, 2004).

DESCRIPTIF DES ENSEIGNEMENTS (2^{ème} Semestre)**Apprentissage automatique****Responsable : Stéphane Herbin**

Langue d'enseignement : Français

Volume horaire : 12h CM + 18h TD-TP

Né dans les années 50 avec l'apparition de l'informatique, l'apprentissage automatique a connu récemment un essor remarquable grâce à la disponibilité de masses de données, de grandes puissances de calcul (GPU) et d'environnements logiciels spécialisés (Deep Learning). Les techniques d'apprentissage automatique ont permis un gain de performance important sur des problèmes classiques d'interprétation de données complexes (classification d'images, reconnaissance de visages, conduite de véhicule autonome, reconnaissance de la parole, traduction, diagnostic médical, biométrie, etc.) Le cours proposera une présentation générale des différentes techniques, des plus classiques au plus récentes. Il portera l'accent sur leurs domaines d'utilisation et sur leur mise en œuvre pratique dans le cadre des TD sur machines et d'un projet.

Bibliographie :

[1] C. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, (Springer-Verlag, 2006). (<https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2006/01/Bishop-Pattern-Recognition-and-Machine-Learning-2006.pdf>)

[2] Jerome H. Friedman, Robert Tibshirani et Trevor Hastie, The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction (Springer-Verlag, 2009). (<https://web.stanford.edu/~hastie/Papers/ESLII.pdf>)

[3] Ian Goodfellow and Yoshua Bengio and Aaron Courville, Deep Learning, (An MIT Press book, 2016) (<http://www.deeplearningbook.org>).

Prérequis :

Il est nécessaire, pour suivre ce cours, d'avoir suivi le cours du premier semestre de François Gouudail "Traitement du signal et systèmes d'imagerie" ou bien d'avoir assimilé les éléments essentiels d'estimation et de détection, tels qu'exposés dans les deux ouvrages suivants : S. M. Kay, Fundamentals of statistical signal processing - Volume I : Estimation Theory (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993) et S. M. Kay, Fundamentals of statistical signal processing - Volume II : Detection Theory (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1993).

Commande prédictive

Responsable : Sorin Olaru

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

La commande prédictive est une méthode avancée de contrôle, basée sur des modèles et l'optimisation (commande optimale). Elle a prouvé ses performances au travers de nombreuses applications industrielles (plus 1000 applications recensés au début des années 2000). Parallèlement, la théorie n'a cessé d'évoluer et de multiples avancées ont été réalisées, principalement sur l'amélioration de la robustesse et des performances temps réel d'une part, et sur l'extension vers des structures/objectifs plus complexes d'autre part. L'objectif de ce cours est de présenter les résultats classiques ou plus récents sur la commande prédictive, qui permettront l'utilisation de cette technique comme outil méthodologique en automatique. Une partie importante du cours sera destinée à l'aspect mise en œuvre, optimisation et implantation, où la prise en compte de contraintes conduit à résoudre le problème de commande par des techniques d'optimisation en temps réel qui s'avèrent lourdes en temps de calcul même si les modèles de prédiction sont linéaires. Une solution alternative, basée sur la recherche de solutions explicites pour l'implantation temps réel sera présentée. Dans la deuxième partie, le cours traitera des extensions pour couvrir les notions de robustesse de la prédiction. La prédiction en présence d'incertitudes de modèle représente le point clef du design mais la maîtrise de la complexité de calcul reste une contrainte incontournable. Le cours vise à sensibiliser aussi à l'utilisation de modèles plus complexes, qui prennent en comptes des dynamiques hybrides ou non linéaires en général.

Bibliographie :

- [1] Qin, S. Joe, and Thomas A. Badgwell. "A survey of industrial model predictive control technology." *Control engineering practice* 11.7 (2003): 733-764.
- [2] Mayne, D. Q., Rawlings, J. B., Rao, C. V., & Sokaert, P. O. (2000). *Constrained model predictive control: Stability and optimality*. *Automatica*, 36(6), 789-814.
- [3] Bemporad, A., Morari, M., Dua, V., & Pistikopoulos, E. N. (2002). The explicit linear quadratic regulator for constrained systems. *Automatica*, 38(1), 3-20.
- [4] Mayne, D. Q., Seron, M. M., & Raković, S. V. (2005). Robust model predictive control of constrained linear systems with bounded disturbances. *Automatica*, 41(2), 219-224.
- [5] Rawlings, J. B., & Mayne, D. Q. (2009). *Model predictive control: Theory and design* (pp. 3430-3433). Madison, Wisconsin: Nob Hill Pub.
- [6] Fernandez-Camacho, E., & Bordons-Alba, C. (1995). *Model predictive control in the process industry*. Springer London.
- [7] Boucher, P., & Dumur, D. (2006). *La Commande Prédictive: Avancées et perspectives*, *Traité IC2*.

Contrôle et propriétés structurelles des systèmes non-linéaires

Responsable : Paolo Mason

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD

L'objectif de ce cours est de présenter des outils méthodologiques et théoriques pour le contrôle des systèmes non linéaires. Le cours est organisé en deux parties. Dans la première partie, plusieurs techniques classiques de conception de contrôles non linéaires sont présentées et illustrées à l'aide d'exemples concrets. Dans la deuxième partie, une introduction aux propriétés structurelles des systèmes non linéaires, telles que la contrôlabilité et l'observabilité, est donnée. Des notions de base et des outils de la théorie du contrôle géométrique sont également présentés.

Bibliographie :

[1] H. Khalil, Nonlinear systems, Prentice Hall, 2002

[2] A. Isidori, Nonlinear Control Systems, Springer, 1995

[3] M. Krstic , I. Kanellakopoulos , P. V. Kokotovic, Nonlinear and Adaptive Control Design, Wiley, 1995

[4] F. Bullo, A. D. Lewis, Geometric Control of Mechanical Systems, Springer, 2005 (chapter 3)

[5] E. D. Sontag, Mathematical Control Theory, Springer, New York, 1998

Contrôle pour la robotique

Responsable : Hugues Mounier

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 24h Cours/TP

Ce cours vise à fournir aux étudiants les bases de certaines méthodes de commande de suivi de trajectoires avec des applications en robotique, mais aussi aux systèmes biologiques. Les techniques méthodologiques seront celles de la platitude différentielle, particulièrement adaptée à la synthèse de commande assurant la poursuite de trajectoires. Le cours est subdivisé en deux parties :

- Dans la première, les notions théoriques sont développées et illustrées au travers d'exemples et de travaux dirigés.
- Dans la deuxième, une vingtaine d'études de cas, fondées sur des articles de la littérature, sont proposées aux élèves. Pour chaque système étudié, un ou plusieurs modèles sont sélectionnés et pour chacun, le caractère différentiellement plat est examiné, une sortie plate est déterminée et un suivi de trajectoires est implanté en langage python.

Bibliographie :

[1] J. Lévine, Analysis and Control of Nonlinear Systems: A Flatness based Approach, Springer, 2009

[2] H. Sira-Ramirez, S.K. Agrawal, Differentially Flat Systems, CRC Press, 2018

Estimation robuste pour le traitement du signal

Responsable : Nabil El Korso

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 20h CM + 6h TD-TP

De nos jours les données sont au cœur de nombreux domaines et leur traitement (pour l'extraction de connaissances, la prise de décision, etc..) peut constituer un problème très complexe, notamment parce que les données peuvent être mal modélisées, ou du moins éloignées de la modélisation classique. Ils peuvent également contenir des valeurs aberrantes ou une partie des données peut manquer. Pour faire face à de tels problèmes, l'objectif de ce cours est de fournir aux étudiants des techniques avancées et récentes de la statistique robuste avec plusieurs applications aux problèmes classiques du traitement du signal. Plus précisément, après une introduction générale à la théorie de l'estimation monovariée robuste, nous passerons au cas multivarié complexe adapté aux applications de traitement du signal. Ce cours combinera des outils théoriques, tels que des techniques d'estimation robustes, des régressions robustes et une détection robuste, ainsi que des applications davantage axées sur le traitement du signal : estimation DOA, filtrage du signal, détection de signal, débruitage, ...

Bibliographie :

[1] Huber PJ (1981) Robust statistics. Wiley, New-York

Imagerie médicale

Responsable : Nicolas Gac

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 14h CM + 15h TD-TP

Le but de ce cours est de développer les compétences pratiques et théoriques d'estimation et de résolution de problèmes inverses au travers de l'imagerie médicale. Ce domaine est très important, en particulier il représente 6 milliards d'euros de dépense de santé en France. Les cours se focaliseront sur les principales modalités d'imagerie médicale, qui sont l'IRM, et la médecine nucléaire comme l'imagerie SPECT et PET. Cet enseignement sera divisé en deux parties, la première sur l'imagerie issue d'appareils IRM et la seconde sur l'imagerie nucléaire. De plus, comme les reconstructions dans ce domaine nécessitent des ressources de calculs très importantes, une séance de travaux pratique sera dédiée à la parallélisation d'algorithmes sur machine massivement parallèle (GPU).

Méthodes avancées en traitement d'image

Responsable : Florence Tupin

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

L'objectif de ce cours est d'une part de présenter des modèles basiques de traitement d'images (échantillonnage, détection de contours) et d'autre part de donner un aperçu des grandes problématiques du domaine (restauration, débruitage, segmentation) et des méthodes usuelles (morphologie mathématique, filtrage, champs de Markov).

Bibliographie :

[1] H. Maître, Le traitement des images (Hermès,2002).

[2] C. Aguerrebere et al., Simultaneous HDR reconstruction and denoising of dynamic scenes, ICCP 2013.

Problèmes inverses

Responsable : **Thomas Rodet**

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

Un grand nombre de problèmes d'analyse de données peuvent être abordés sous l'angle de l'inversion, au sens où les observations sont partiellement informatives sur la quantité à estimer et l'estimation repose aussi sur la prise en compte de modèles physiques. Dans diverses applications comme l'astrophysique, l'ingénierie biomédicale, la surveillance industrielle ou la télédétection, l'utilisation directe des mesures n'est pas toujours satisfaisante. Les méthodes d'inversion permettent de prendre en compte les distorsions introduites par les appareils de mesure pour reconstruire la grandeur d'intérêt. Ce cours aborde les problèmes inverses mal posés, pour lesquels les données observées sont insuffisantes pour reconstruire de façon fiable l'objet d'intérêt. Les techniques de régularisation sont alors nécessaires pour résoudre ces problèmes inverses difficiles. Nous introduisons deux grandes familles de méthodes. D'un côté l'approche variationnelle, qui repose sur la construction et l'optimisation d'une fonction de coût régularisée et de l'autre l'approche bayésienne, basée sur la modélisation probabiliste de l'objet à reconstruire et des erreurs de modèle. Cette dernière approche conduit à des méthodes non supervisées permettant une quantification des incertitudes. Les différentes approches et algorithmes sous-jacents seront illustrés sur différents cas d'étude (TP) comme la restauration ou la reconstruction de signaux et d'images avec des modèles directs linéaires ou non. Les domaines applicatifs liés à ces cas d'étude seront l'ingénierie biomédicale ou le contrôle non destructif de matériaux, ou le traitement d'images en astrophysique.

Bibliographie :

- [1] J. Idier. « Approche bayésienne pour les problèmes inverses », Traité IC2, Série traitement du signal et de l'image, Hermès, Paris, nov. 2001.
- [2] J. F. Giovannelli et J. Idier, « Méthodes d'inversion appliquées au traitement du signal et de l'image », Hermès, Paris, nov. 2013.
- [3] J. Nocedal et S. J. Wright, « Numerical optimization », Springer texts in Operations Research and Financial Engineering, 2ème édition, Springer Verlag, New York, juil. 2006.
- [4] C. P. Robert, « Le choix bayésien », Coll. Statistique et probabilités appliquées, Springer, Paris, 2006.
- [5] V. Smidl et A. Quinn, « The variational Bayes method in signal processing », Springer, Berlin, 2006.

Systèmes hybrides

Responsable : Luca Greco

Langue d'enseignement : Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

Les dynamiques hybrides, c'est-à-dire combinant dynamiques évènementielles et classiques (continues ou discrètes), sont communes à de nombreux systèmes physiques comme par exemple les systèmes de transport, les chaînes de production, les réacteurs biochimiques, les neurones, etc. Elles donnent également lieu à de nombreuses applications de commande : commande supervisée, gain scheduling, effets de quantification ou d'échantillonnage, systèmes commandés par réseaux, modes dégradés, etc. Le but de ce cours est de présenter les concepts de base nécessaires à l'analyse et la commande de systèmes hybrides. Il se concentre pour cela sur trois formalismes : les systèmes à commutation, les systèmes affines par morceaux et les automates hybrides. Chaque concept abordé sera illustré par un exemple applicatif issu de l'industrie automobile.

Bibliographie :

[1] Liberzon, D., (2003). Switching in systems and control. Springer Science & Business Media.

[2] Lygeros, J., Johansson, K. H., Simic, S. N., Zhang, J., & Sastry, S. S. (2003). Dynamical properties of hybrid automata. IEEE Transactions on automatic control, 48(1), 2-17.

[3] Tomlin, C. J., Lygeros, J., & Sastry, S. S. (2000). A game theoretic approach to controller design for hybrid systems. Proceedings of the IEEE, 88(7), 949-970.

Systèmes multi-agents

Responsable : Ioannis Sarras

Langue d'enseignement : Français/Anglais

Volume horaire : 18h CM + 9h TD-TP

Essais d'animaux, réseaux électriques, formations de véhicules autonomes, neurones interconnectés, réseaux de capteurs... Tous ces systèmes partagent une caractéristique cruciale : leur comportement global résulte d'une interaction locale entre de nombreux agents. Ici, «local» signifie que chaque agent n'interagit qu'avec ses voisins. Ce cours vise à fournir les bases pour analyser et contrôler de tels réseaux à grande échelle. En particulier, il fournit des outils méthodologiques pour étudier l'interconnexion entre plusieurs agents dynamiques. Il aborde deux caractéristiques fondamentales de ces réseaux : le consensus, dans lequel les états de tous les agents convergent vers une valeur commune, et la synchronisation, dans laquelle les agents partagent un comportement cohérent (éventuellement non statique). Ces notions seront illustrées via une sélection d'études de cas.

Bibliographie :

[1] W. Ren, Y. Cao. Distributed Coordination of Multi-agent Networks: Emergent Problems, Models, and Issues. Communications and Control Engineering, Springer-Verlag, London, 2011.

[2] W. Ren, R.W. Beard, and E. M. Atkins. Information Consensus in Multivehicle Cooperative Control, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 27, No. 2, April, 2007, pp. 71-82.

[3] H. Nijmeijer, N. and A. Rodriguez-Angeles. Synchronization of mechanical systems (Vol. 46), World Scientific, 2003.

[4] S.S Kia, B.VanScoy, J.Cortes, R.A. Freeman, K.M. Lynch, and S.Martinez. Tutorial on Dynamic Average Consensus The problem, its applications, and the algorithms, IEEE Control Systems Magazine 2018.

[5] M. Mesbahi, M. Egerstedt. Graph Theoretic Methods in Multiagent Networks, Princeton University Press.
