

Informations sur le cours

Titre : Traitement et analyse d'images
Numéro : ELE8812
Horaire : cours : Jeudi 13h45 à 16h30
labos : Lundi 8:30 à 11:30
Professeur : Eva Alonso Ortiz (L-5614), 340-4711 ext. 4366, eva.alonso-ortiz@polymtl.ca
Consultation: jeudi après le cours (prendre RDV par email)
Chargé de labo : Enguix Chiral, Vicente

Objectifs généraux

Ce cours a pour objectif principal de présenter les concepts de base relatifs à la représentation et à la manipulation des images, ainsi que les principaux types d'analyse et de traitement. À la fin du cours, l'étudiant :

- aura acquis une connaissance adéquate des caractéristiques propres aux images et des outils mathématiques nécessaires à leur manipulation et à leur traitement ;
- maîtrisera les principales méthodes de traitement, de codage et de classification automatique d'images, et pourra les discuter en termes de leur complexité, de leurs performances et de leur pertinence par rapport à des applications ;
- sera capable de choisir, dans le contexte d'un problème spécifique, la ou les méthodes de traitement susceptibles de fournir une solution satisfaisante en termes de performances, et de développer une telle solution.

Description abrégée du cours et prérequis

Le cours passera en revue les notions suivantes :

- Caractérisation des images et perception.
- Numérisation, représentation et manipulation.
- Amélioration dans le domaine spatial et dans le domaine fréquentiel.
- Restauration d'images.
- Reconstruction tomographique.
- Codage et compression.
- Segmentation d'images et détection de contours.
- Reconnaissance de formes.

Des notions de base en mathématiques, en probabilités et en traitement et analyse des signaux sont prérequis. De plus, les laboratoires et les devoirs nécessitent l'utilisation de Python. Il est fortement recommandé aux étudiants non familiers avec Python de se former sur ce langage (disponible dans tous les laboratoires informatiques de l'École) durant les deux premières semaines de cours.

Préalable(s) : ELE2700 ou GBM3720 ou INF4725, MTH2302A ou l'équivalent

Modalités et méthodes d'évaluation

Le cours comprend

- 12 leçons qui présentent les notions essentielles de traitement et d'analyse d'images, telles que décrites dans la [description abrégée et les prérequis](#) du cours et dont le contenu est décrit dans le [calendrier](#) ;
- 4 séances de laboratoire dans lesquelles les étudiants doivent mettre en œuvre et appliquer les notions présentées en cours. Leur contenu est également décrit dans le [calendrier](#). Une bonne connaissance de Python est un prérequis ;
- 3 devoirs, qui comportent à la fois une partie méthodologique et une partie de mise en œuvre informatique, à l'aide du langage Python. Les dates de remise de ces travaux sont indiquées dans le calendrier du cours ;
- un examen final récapitulatif.

La pondération des différents travaux est la suivante :

Nature	Pondération
Travaux pratiques	30 %
Devoirs	30 %
Examen final	40 %

La qualité de l'expression écrite et orale est prise en compte dans l'attribution des notes. Une pénalité est appliquée pour chaque journée de retard dans la remise des travaux.

Documents de référence

Manuel de référence

Le manuel qui sert de base au cours est l'ouvrage suivant :

Digital Image Processing, 4^e édition
Rafael C. Gonzalez et Richard E. Woods
Pearson / Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
2008, 2018
ISBN-10:0-13-335672-8

Cet ouvrage est disponible à Coopoly. Il est également placé en réserve à la bibliothèque.

Autres ressources

Les étudiants pourront également se référer à la section *Students* du site web imageprocessingplace.com. Le site a été développé par les auteurs du livre *Digital Image Processing* comme un complément à ce dernier.

- Il est suggéré aux personnes connaissant peu Python de se familiariser avec ce langage avant le début des travaux pratiques. Des tutoriels d'introduction à Python sont disponibles [ici](#). Par ailleurs, il existe d'excellentes ressources à l'École Polytechnique, notamment le matériel didactique du cours INF1005D « programmation procédurale en python » disponible en ligne sur le [site web du cours](#).

Cours - Caractérisation des images et perception

Cette séance est consacrée à une introduction au domaine du traitement d'images, ainsi qu'à la question de perception. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Introduction
 - Éléments historiques
 - Exemples d'applications et de modalités
 - Traitement et analyse d'images : synthèse
2. Perception
 - Position du problème
 - Œil et vision
 - Perception
3. Formation des images numériques
 - Modèle simple de formation d'images
 - Échantillonnage et quantification

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 1 et au chapitre 2, sections 2.1 à 2.4.4 inclusivement (pages 31 à 61).

Cours - Transformations et améliorations élémentaires dans le domaine spatial

Cette séance est consacrée à la présentation de transformations élémentaires dans le domaine spatial. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Notions élémentaires
 - Topologie sur une image
 - Notion d'opération
 - Opérations arithmétiques et logiques
 - Transformations géométriques
 - Transformations portant sur l'intensité
2. Amélioration dans le domaine spatial
 - Transformations « pixel par pixel »
 - Transformations élémentaires
 - Modifications de l'histogramme
3. Transformations utilisant la notion de voisinage (filtrage)
 - Notions de filtrage 2D
 - Adoucissement ("*smoothing*")
 - Affinage ("*sharpening*")

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 2, pages 61 à 96, et au chapitre 3, pages 133 à 174 et 177 à 217.

Cours - Représentation des images dans le domaine fréquentiel

Cette séance est consacrée à la représentation des images dans le domaine fréquentiel. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Cadre 1D
 - Séries de Fourier : interprétation géométrique
 - Extension : approche géométrique de la transformée de Fourier
 - Échantillonnage
 - Transformée de Fourier à temps discret et transformée de Fourier discrète
2. Cadre 2D
 - Extension 2D de la transformée de Fourier
 - Échantillonnage
 - Aspects pratiques

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 4, sections 4.1 à 4.6 incluse.

Cours - Amélioration dans le domaine fréquentiel

Cette séance est consacrée à la présentation de méthodes spectrales plus sophistiquées pour l'amélioration d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Aspects pratiques des calculs dans le domaine fréquentiel
 - Rappel : propriétés importantes de la TFD
 - Exemple : interpolation
 - Exemple : convolution
2. Principe des traitements dans le domaine fréquentiel
3. Lissage ("`smoothing") dans le domaine fréquentiel
 - Filtre passe-bas idéal
 - Filtres classiques : Butterworth et gaussien
4. Rehaussement ("`sharpening") dans le domaine fréquentiel
 - Filtres classiques : idéal, Butterworth et gaussien
 - Autres types de traitements : laplacien, masque flou, homomorphique
5. Traitements *ad hoc* dans le domaine fréquentiel
 - Filtres passe-bande et coupe-bande
 - Filtres *ad hoc*

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 4, sections 4.7 à 4.11 incluse.

Cours - Rappels de probabilités, signal aléatoire et estimation

Cette séance est consacrée à un rappel de notions de probabilités, de signal aléatoire et d'estimation. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Rappels de probabilités et de signal aléatoire
 - Variables aléatoires
 - Interprétation
 - Définitions et propriétés
 - Distributions particulières
 - Vecteurs aléatoires
 - Définition et propriétés
 - Conditionnement
 - Distributions particulières
 - Aspects fréquentiels : signaux aléatoires stationnaires d'ordre deux
 - Position du problème
 - Définition et propriétés
 - Représentation fréquentielle et filtrage
2. Rappels d'estimation
 - Position du problème
 - Méthodologie de l'estimation
 - Approche générale
 - Estimateurs classiques
 - Caractéristiques des estimateurs
 - Estimation dans le cas linéaire et gaussien

Cours - Restauration d'images

Cette séance est consacrée à la présentation des principaux aspects de la restauration d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Notion de bruit : compléments
 - Rappels et extension 2D
 - Bruit blanc et bruit coloré - Caractéristiques spectrales
 - Types de bruit
 - Estimation des paramètres du bruit
2. Restauration en présence de bruit seulement
 - Filtrage linéaire : interprétation statistique
 - Modélisation statistique d'une image
 - Restauration : estimation de l'image
3. Restauration en présence d'une dégradation linéaire et de bruit
 - Représentation algébrique du filtrage linéaire
 - Estimation de la dégradation linéaire
 - Restauration : hypothèse non gaussienne sur l'image
 - Restauration : hypothèse gaussienne sur l'image et le bruit

Cette matière est présentée en partie dans le manuel du cours au chapitre 5, sections 5.1 à 5.10 incluse.

Cours - Reconstruction tomographique

Cette séance est consacrée à la présentation des principaux aspects de la reconstruction tomographique d'images. Plus précisément, nous avons couvert les points suivants :

1. Introduction
 - Tomographie à rayons X (TRX)
 - Autres modalités
2. Formulation du problème de TRX - Transformée de Radon
3. Reconstruction en TRX : approche analytique
 - Géométrie à rayons parallèles
 - Géométrie à rayons en éventail
4. Reconstruction en TRX : approche algébrique
 - Modèle de formation des données
 - Estimation de l'objet
5. Reconstruction : autres modalités
 - Caractéristiques générales
 - Exemple : tomographie à courants de Foucault

Cette matière est présentée en partie dans le manuel du cours à la section 5.11 du chapitre 5.

Cours - Segmentation d'images et détection de contours

Cette séance est consacrée à la présentation des principales techniques de détection de contours et de segmentation d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Introduction
2. Détection de contours
 - Formulation du problème
 - Méthodes élémentaires : gradient et laplacien
 - Méthode de Canny
 - Détection de frontières
3. Segmentation de régions
 - Position du problème
 - Techniques de seuillage global
 - Techniques de seuillage local ou adaptatif
 - Autres méthodes

L'essentiel de cette matière est présenté dans le manuel du cours au chapitre 10.

Cours - Analyse multirésolution et transformée en ondelettes

Cette séance est consacrée à la présentation des principales techniques d'analyse multirésolution des images, en insistant particulièrement sur les méthodes à base d'ondelettes. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Approches des traitements multirésolutions
 - Analyse pyramidale
 - Codage en sous-bandes
 - Transformée de Haar
2. Développements multirésolutions
 - Rappels
 - Fonctions d'échelle
 - Ondelettes
3. Développement en série d'ondelettes, transformée en ondelettes
 - Développement en série d'ondelettes
 - Transformée en ondelettes discrète
 - Transformée en ondelettes rapide
 - Extension bi-dimensionnelle
4. Applications de la transformée en ondelettes 2D
 - Détection de contours
 - Débruitage et compression d'images

L'essentiel de cette matière est présenté dans le manuel du cours aux sections 6.9 et 6.10 du chapitre 6.

Cours - Compression et codage d'images I

Cette séance est consacrée à la présentation des aspects élémentaires de la compression et du codage d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Notions fondamentales
 - Introduction
 - Notion de redondance
 - Modèle de codage et normes
 - Notion d'information
2. Codage de source
 - Codage de Huffman
 - Codage de Golomb
 - Codage arithmétique
 - Codage de Lempel-Ziv-Welch
3. Redondance spatiale
 - Codage par longueur de plage (RLC)
 - Codage par plans de bits (BPC)
 - Codage par symboles

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 8, sections 8.1 à 8.8 inclusivement.

Cours - Compression et codage d'images II

Cette séance est consacrée à la présentation de plusieurs techniques utilisées pour compresser et coder les images, ainsi que de quelques éléments de tatouage numérique (*watermarking*). Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Codage par transformée par blocs
 - Démarche générale
 - Choix de la transformée
 - Sélection et quantification des coefficients
 - Redondance structurelle et codage des symboles
 - Exemple : codage JPEG
2. Codage prédictif
 - Codage prédictif sans et avec perte
 - Structure et spécification des prédicteurs
 - Quantification de l'erreur de prédiction
3. Éléments de tatouage numérique (*watermarking*)

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 8, sections 8.9 à 8.10 et 8.12.

Cours – Deep Learning

Le calendrier

Date	Cours / Lab	Titre
20 janvier	Cours 1	Caractérisation des images et perception
27 janvier	Cours 2	Transformations et améliorations élémentaires dans le domaine spatial
31 janvier	Lab 1 (B2)	Traitements élémentaires dans le domaine spatial
3 février	Cours 3	Représentation des images dans le domaine fréquentiel
7 février	Lab 1 (B1)	Traitements élémentaires dans le domaine spatial
10 février	Cours 4	Amélioration dans le domaine fréquentiel
14 février	Lab 2 (B2)	Traitements élémentaires dans le domaine fréquentiel
17 février	Cours 5	Rappels de probabilités, signal aléatoire et estimation
21 février	Lab 2 (B1)	Traitements élémentaires dans le domaine fréquentiel
24 février	Cours 6	Restauration d'images
3 mars	-	<i>Semaine de relâche</i>
7 mars	-	<i>Pas de lab</i>
10 mars	Cours 7	Segmentation d'images et détection de contours
14 mars	Lab 3 (B1)	Restauration d'images + Segmentation d'images et détection de contours
17 mars	Cours 8	Analyse multirésolution et transformée en ondelettes
21 mars	Lab 3 (B2)	Restauration d'images + Segmentation d'images et détection de contours
24 mars	Cours 9	Compression et codage d'images 1
28 mars	Lab 4 (B1)	Analyse multirésolution et transformée en ondelettes
31 mars	Cours 10	Compression et codage d'images 2
4 avril	Lab 4 (B2)	Analyse multirésolution et transformée en ondelettes
7 avril	Cours 11	Deep Learning (Prof. Julien Cohen-Adad)
11 avril	-	<i>Pas de lab</i>
14 avril	Cours 12	Reconstruction tomographique

Les dates de remise des devoirs seront ajustées selon l'avancement de la matière en classe (i.e. pour s'assurer d'avoir couvert toute la matière nécessaire).

Dates approximatives : Devoir 1 : 3 février, remise le 16 février

Devoir 2 : 24 février, remise le 16 mars

Devoir 3 : 31 mars, remise le 20 avril

Déroulement du cours

Le début du cours (le 20 janvier 2022) sera en mode virtuel et synchrone durant la période prévu du cours. Un lien zoom sera affiché sur Moodle et la séance sera enregistré. Si un retour en présentiel n'est pas possible avant le premier laboratoire, il sera en mode virtuel aussi. Des instructions seront fournies.

Note importante :

Les activités d'enseignement en ligne en mode synchrone pourront être enregistrées afin de permettre aux personnes étudiantes ne pouvant pas assister en temps réel au cours, notamment les étudiantes et les étudiants étrangers résidant dans un fuseau horaire différent de celui de Polytechnique Montréal, d'avoir accès à l'activité d'enseignement. L'enregistrement sera ensuite rendu disponible sur Moodle aux seules personnes étudiantes inscrites au cours ELE8812 au trimestre d'hiver 2022.

Si l'étudiante ou l'étudiant active son micro et sa caméra lors de cette activité d'enseignement, il est possible que son nom, son image et sa voix apparaissent sur l'enregistrement. Ces renseignements personnels seront accessibles à la personne enseignante, aux personnes étudiantes inscrites au cours ELE8812 au trimestre d'hiver 2022 et aux employés de Polytechnique affectés à la gestion de Moodle. Si l'étudiante ou l'étudiant ne souhaite pas être enregistré, il est de sa responsabilité de désactiver son microphone et sa caméra.

À défaut de désactiver son microphone et sa caméra, l'étudiante ou l'étudiant consent à l'enregistrement audio ou audiovisuel, à la conservation, à l'utilisation et à la rediffusion de l'enregistrement de son nom, de sa voix et de son image dans le cadre de l'activité d'enseignement en ligne.

Rappel : droit d'auteur

Les activités d'enseignement en ligne sont protégées par les droits d'auteur et le droit à la vie privée dont le droit à l'image. En conséquence, la personne étudiante ne peut pas :

- partager les vidéos ou des extraits de celles-ci avec une autre personne;
- enregistrer localement les vidéos;
- diffuser ou vendre les vidéos.