

Image, Modélisation et Rendu
Parcours Multimédia, Département SN
Parcours IATI, Département 3EA
Des transformations à l'analyse d'images
Partie IV

Sylvie CHAMBON
schambon@enseeiht.fr

13 février 2026



Superpixels

Introduction : origine

Définition et propriétés

Construction



Plan de la présentation

Superpixels

Introduction : origine

Définition et propriétés

Construction



Introduction

- Élément de base : pixel
- Élément structuré : points/régions d'intérêt
- Primitive intermédiaire : *patches*
- Primitive intermédiaire plus évoluée
superpixels = sur-segmentation de l'image
- Quel est l'avantage de construire ces superpixels au lieu d'utiliser les pixels de base ?



Introduction : comparaison

- Information différente de celle fournie par une segmentation
- Élément **moins discriminant qu'un objet ou un point d'intérêt**

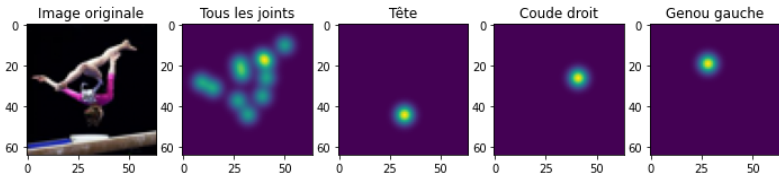
Mais plus riche en information photométriques et/ou géométriques

- **Moins stable en terme de suivi**

Mais avec une forme permettant une meilleure adaptation à la réalité de la scène

Introduction : utilisation

- Étape de pré-segmentation ou de sur-segmentation avant une **segmentation**
 Fusion/Correction en utilisant la sémantique
- **Détection et reconnaissance d'objets**
 Modèle de corps humain : réduction de l'espace de recherche, meilleure précision (comparée à une boîte englobante), contrainte de spatialisation
- **Suivi** d'objets
- Construction de **carte de saillance**
 ajouter aux études psycho-visuelles et aux dispositifs d'*eye-tracking* pour apporter la structure





Plan de la présentation

Superpixels

Introduction : origine

Définition et propriétés

Construction



Définition

*Un **supixel** est une structure locale et cohérente qui représente une zone ou une partie d'un même objet*



Définition

*Un **superpixel** est une structure locale et cohérente qui représente une zone ou une partie d'un même objet*

- **Différentes définitions** : dues à l'interprétation mathématique que l'on peut faire des termes employés dans cette définition
 - Structure
 - Locale
 - Cohérente



Définition

*Un **superpixel** est une structure locale et cohérente qui représente une zone ou une partie d'un même objet*

- **Différentes définitions** : dues à l'interprétation mathématique que l'on peut faire des termes employés dans cette définition
 - Structure
 - Locale
 - Cohérente
- **Différents constructeurs** : entre 2000 et 2013 influencé par les travaux de Comaniciu et Meer



Propriétés

- Indispensable pour comprendre la mise en œuvre des constructeurs
- **Trois catégories de propriétés**
 - Apparence
 - Spatiale
 - Échelle



Propriétés d'apparence

- **Statistiques sur la colorimétrie ou l'intensité** : moyenne, écart-type . . . , des couleurs ou niveaux de gris

Propriétés d'apparence

- **Statistiques sur la colorimétrie ou l'intensité** : moyenne, écart-type . . . , des couleurs ou niveaux de gris
- **Rapport intra/inter région** : Minimisation de la **similarité entre deux régions** + maximisation de la similarité entre pixels dans une même région

$$C_{DIIR}(\mathcal{S}) = \frac{1}{\text{card}(\mathcal{S})} \sum_{S_i \in \mathcal{S}} \frac{\frac{1}{\text{card}(\mathcal{V}_{S_i})} \sum_{S_j \in \mathcal{V}_{S_i}} \sigma_{S_j \cup S_i}}{\sigma_{S_i}} \quad (1)$$

Propriétés d'apparence

- **Statistiques sur la colorimétrie ou l'intensité** : moyenne, écart-type . . . , des couleurs ou niveaux de gris
- **Rapport intra/inter région** : Minimisation de la **similarité entre deux régions** + maximisation de la similarité entre pixels dans une même région

$$C_{DIIR}(\mathcal{S}) = \frac{1}{\text{card}(\mathcal{S})} \sum_{S_i \in \mathcal{S}} \frac{\frac{1}{\text{card}(\mathcal{V}_{S_i})} \sum_{S_j \in \mathcal{V}_{S_i}} \sigma_{S_j \cup S_i}}{\sigma_{S_i}} \quad (1)$$

- **Texture** : peu exploitée



Propriétés spatiales

- **Position** : Distance



Propriétés spatiales

- **Position** : Distance
- **Connexité** : Un superpixel \mathcal{S} est connexe si et seulement si pour toutes paires de pixels $(p_i, p_j) \in \mathcal{S}$, on peut trouver un chemin reliant les deux passant uniquement pas des pixels de \mathcal{S}

Propriétés spatiales

- **Position** : Distance
- **Connexité** : Un superpixel \mathcal{S} est connexe si et seulement si pour toutes paires de pixels $(p_i, p_j) \in \mathcal{S}$, on peut trouver un chemin reliant les deux passant uniquement pas des pixels de \mathcal{S}
- **Compacité** : Rapport entre le carré du périmètre d'un superpixel et son aire

$$C_{Comp}(\mathcal{S}) = \frac{1}{card(\mathcal{S})} \sum_{S_i \in \mathcal{S}} \frac{P_{S_i}^2}{A_{S_i}} \quad (2)$$

Propriétés spatiales

- **Position** : Distance
- **Connexité** : Un superpixel \mathcal{S} est connexe si et seulement si pour toutes paires de pixels $(p_i, p_j) \in \mathcal{S}$, on peut trouver un chemin reliant les deux passant uniquement pas des pixels de \mathcal{S}
- **Compacité** : Rapport entre le carré du périmètre d'un superpixel et son aire

$$C_{Comp}(\mathcal{S}) = \frac{1}{card(\mathcal{S})} \sum_{S_i \in \mathcal{S}} \frac{P_{S_i}^2}{A_{S_i}} \quad (2)$$

- **Régularité topologique** : Chaque superpixel possède toujours le même nombre de voisins (sauf dans le cas particulier des bords)

Propriétés spatiales

- **Position** : Distance
- **Connexité** : Un superpixel \mathcal{S} est connexe si et seulement si pour toutes paires de pixels $(p_i, p_j) \in \mathcal{S}$, on peut trouver un chemin reliant les deux passant uniquement pas des pixels de \mathcal{S}
- **Compacité** : Rapport entre le carré du périmètre d'un superpixel et son aire

$$C_{Comp}(\mathcal{S}) = \frac{1}{\text{card}(\mathcal{S})} \sum_{S_i \in \mathcal{S}} \frac{P_{S_i}^2}{A_{S_i}} \quad (2)$$

- **Régularité topologique** : Chaque superpixel possède toujours le même nombre de voisins (sauf dans le cas particulier des bords)
- **Contours de l'image** : détecter les contours et faire en sorte que les frontières des superpixels suivent au mieux ces contours



Propriétés d'échelle

- Support spatial : zone considérée pour mettre à jour les superpixels
- Résolution de l'images
- Nombre de superpixels souhaité



Construction

Trois familles d'approches

1. Approches s'appuyant sur la théorie des graphes
2. Approches statistiques
3. Approches par croissance de germes



Approches s'appuyant sur la théorie des graphes

- Conservation d'une certaine structure (parfois régulière)
- Nœuds = superpixels
- Liens = relations de voisinage entre superpixels
- Méthode d'optimisation = coupure de graphe



Plan de la présentation

Superpixels

Introduction : origine

Définition et propriétés

Construction



Construction

Approches s'appuyant sur la théorie des graphes

Structure régulière

- Départ d'une grille régulière en fonction du nombre de superpixels souhaités
- Évolution de chacune des droites en courbes contraintes dans une bande autour de la droite
- Critère : Maximisation de la somme des gradients des pixels situés sur la courbe
- Avantage : Plus de superpixels dans les zones de l'image où la densité de contours est plus élevée



Construction

Approches s'appuyant sur la théorie des graphes

Structure régulière

- Départ d'une grille régulière en fonction du nombre de superpixels souhaités
- Évolution de chacune des droites en courbes contraintes dans une bande autour de la droite
- Critère : Maximisation de la somme des gradients des pixels situés sur la courbe
- Avantage : Plus de superpixels dans les zones de l'image où la densité de contours est plus élevée

Structure irrégulière Un seul cas, l'approche de Felzenszwalb avec le critère Différence intra/inter région



Approches statistiques

- **Inconvénient de la coupure de graphe** : coûteux en temps de calculs
- **Autre solution** : Utilisation des k -moyenne où le nombre de superpixels est donné par l'algorithme



Approches statistiques

Algorithme s'appuyant sur les k-moyennes

- **Initialisation** : distribution de manière régulière des centres C_k des superpixels
- **Amélioration** : centres ajustés localement (dans un voisinage 3×3)



Approches statistiques

Algorithme s'appuyant sur les k-moyennes

- **Initialisation** : distribution de manière régulière des centres C_k des superpixels
- **Amélioration** : centres ajustés localement (dans un voisinage 3×3)
- **Itération** : k -moyenne avec ce critère

$$D_s(p, C_k) = \sqrt{d_a(p, C_k)^2 + \left(\frac{m}{S}\right)^2 d_p(p, C_k)^2}$$

où d_a, d_p = distances euclidiennes entre C_k et p

S correspond au voisinage $2S \times 2S$

m permet de régler l'influence de chacune des distances



Approches par croissance de germes

- Les plus connus : les turbopixels [Levinshtein 09]
- Algorithme itératif également

Approches par croissance de germes

Algorithme des turbopixels

- Initialisation comme SLIC
- Méthode proche des concepts des contours actifs
- Évolution de l'état Ψ^{n+1} (**le label, la classe**, à l'instant $n + 1$, des turbopixels en respectant cette formulation

$$\Psi^{n+1} = \Psi^n - v_I v_B \|\nabla \Psi^n\| \Delta t. \quad (3)$$

où v_I et v_B = vitesses pour accélérer ou freiner l'expansion des superpixels en fonction des contraintes extérieures

- **Contraintes : choix de v_I et v_B**
 - v_I : Courbure, **Contrainte géométrique**
 - v_B :
 - Position de la frontière des superpixels par rapport aux contours
 - Position d'un superpixel par rapport à un autre (pour empêcher deux superpixels de se recouvrir)