

Pyramides irrégulières descendantes tuilées pour la segmentation de grandes images histologiques



Romain Goffe

Thèse dirigée par

Luc Brun et Guillaume Damiand

20 septembre 2011

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

Contexte de la thèse

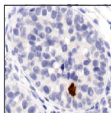
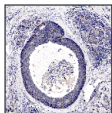
- Projet ANR FoGrImMi
- Traitement de grandes images histologiques 2D de lames entières



Aperio Technologies
Scanscope CS



Hamamatsu
Nanozoomer



Caractéristiques des images

- Très haute résolution (54 000 dpi)
- Volume de données (18 Go)
- Multi-échelle/multi-résolution

Problèmes soulevés

- Représentation en mémoire
- Manipulation / traitements

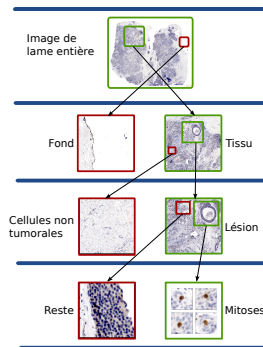
Problématique

Objectifs

- Définir un modèle de représentation
- Définir un cadre pour un processus de segmentation

Contraintes

- Faisabilité de la segmentation indépendamment :
 - ☐ de la taille de l'image
 - ☐ du niveau de détail du modèle
- Reproduire l'analyse des pathologistes :
 - ☐ critères topologiques et hiérarchiques
 - ☐ analyse hiérarchique descendante



Analyse d'une image histologique

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

Représentation d'une image

Partition en régions

- Région : ensemble 4-connexe de pixels (critère d'homogénéité)
- Partition : ensemble de régions pavant l'image

Différents modèles de représentation

- Modèles géométriques : tableaux d'étiquettes, frontières interpixel ...
- Modèles topologiques : RAG, cartes ...
- Modèles hiérarchiques : quadrees, pyramides de graphes ...



Partition



Frontières
interpixel



RAG

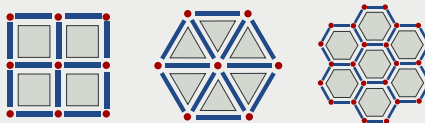


Pyramide de
graphes simples

Complexes cellulaires

Topologie d'un complexe cellulaire [Kovalevsky 1989]

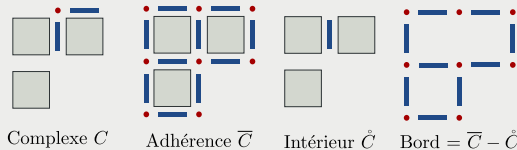
- Pavage du plan tenant compte de tous les éléments



- Éléments interpixel

● pointel — lignel □ pixel

- Quelques définitions

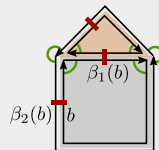


- ✚ Cadre formel : information topologique et géométrique des frontières
- Modèle non compact : pas de description globale des régions

La carte combinatoire

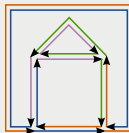
Un modèle topologique [Cori 1975, Lienhardt 1989]

- Élément de base : *brin* $\sim$ demi-arête
- Permutation β_1 : tourner autour d'une face
- Involution β_2 : passer à la face opposée

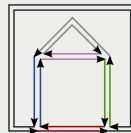


Description des cellules

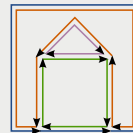
- Sommet = $(\beta_1 \circ \beta_2)^*$
- Arête = β_2^*
- Face = β_1^*



Sommets



Arêtes



Faces

✚ Description globale des adjacences entre les régions

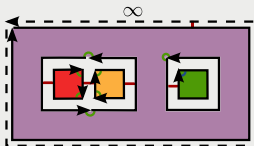
— Relations d'imbrication

— Géométrie des frontières

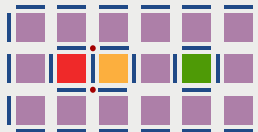
La carte topologique

Définition [Fiorio 1995, Brun 1996, Damiand 2001]

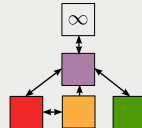
- Modèle complet et minimal de description d'une partition
- Combinaison de trois modèles :



Carte combinatoire



Frontières interpixel



Arbre d'imbrication

- + Information topologique et géométrique
- Dans certains cas : taille modèle > taille image $\Rightarrow$ pas utilisable pour les grandes images

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

Tuiles topologiques

Cartes tuilées

Opérations de construction

Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

Définition

Projection

Raffinement

Conclusion

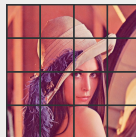
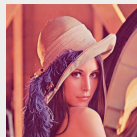
Segmentation de grandes images

Conclusion

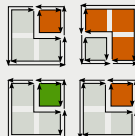
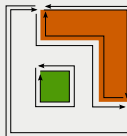
Tuiles topologiques

Carte topologique locale

Décomposition
d'une image
en tuiles



Décomposition
d'une carte en
tuiles topologiques



Tuile topologique

=

carte topologique locale
codant une tuile de l'image

- + Contrainte mémoire potentiellement résolue
- Pas de cohérence globale sur l'ensemble de tuiles topologiques

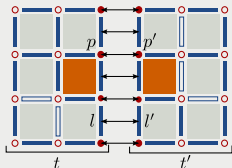
Problématique

Comment s'abstraire de la notion de tuile topologique ?

Cohérence de la partition

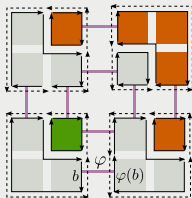
Nécessité d'ajouter de l'information au niveau des bords des tuiles

Représentation interpixel



Définition d'une *relation d'équivalence* entre les cellules appartenant aux bords des tuiles

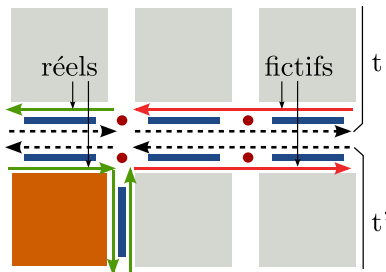
Cartes combinatoires



Construction d'une involution φ entre les brins appartenant aux bords des tuiles adjacentes

Bords fictifs

Objectif : Distinguer **bords introduits par la décomposition** / **bords existants**



- *Oracle* entre les régions
- Marque sur les brins du bord des tuiles

$$\left. \begin{array}{l} \blacksquare \mathcal{B}_R^T : \text{brins représentant un bord réel} \\ \blacksquare \mathcal{B}_R^{\bar{T}} : \text{brins représentant un bord fictif} \end{array} \right\} \mathcal{B} = \mathcal{B}_R^T \cup \mathcal{B}_R^{\bar{T}}$$

Problématique

Comment définir une carte combinatoire sur $\mathcal{B}_R^T$?

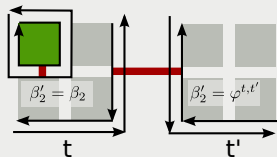
Opérateurs topologiques sur l'ensemble des tuiles

Objectif : définition d'une carte $C = (\mathcal{B}_R^T, \delta_1, \delta_2)$

Résultat intermédiaire : involution β'_2

$$\beta'_2 : \mathcal{B}_R^T \rightarrow \mathcal{B}_R^T$$

$$b \mapsto \begin{cases} \varphi^{t,t'}(b) & \text{si } \exists (t, t') \mid b \in \mathcal{B}_{\partial}^{t,t'} \\ \beta_2(b) & \text{sinon} \end{cases}$$



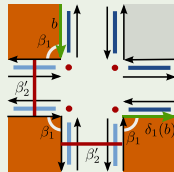
Permutation δ_1 et Involution δ_2

$$\delta_1 : \mathcal{B}_R^T \rightarrow \mathcal{B}_R^T$$

$$b \mapsto \beta_1 \circ (\beta_1 \circ \beta'_2)^k(b) \quad \text{avec}$$

$$k = \min\{p \in \mathbb{N} \mid \beta_1 \circ (\beta_1 \circ \beta'_2)^p(b) \in \mathcal{B}_R^T\}$$

$$\delta_2 = \beta'_2|_{\mathcal{B}_R^T}$$

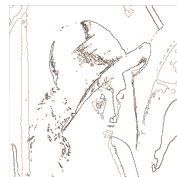


Modèle de carte tuilée

	Carte tuilée	Carte topologique
ensemble de brins	$\mathcal{B}_R^T$	$\mathcal{B}$
permutation	δ_1	β_1
involution	δ_2	β_2



Partition



Carte tuilée

Modèle

- Sommets, arêtes et faces répartis sur plusieurs tuiles
- Bords fictifs $\Rightarrow$ analogie avec les séquences de connexion [Brun et Kropatsch 2003]
- Opérations de chargement/déchargement des tuiles

Problématique

- Construction depuis une partition initiale ?
- Opérations de modification ?

Construction d'une carte tuilée à partir d'une image

Principe général

1. Construire la carte topologique de chaque tuile
2. Garantir la cohérence du modèle sur le bord des tuiles
3. Garantir la faisabilité mémoire du processus de construction

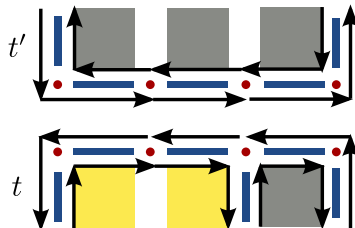
Solution proposée

1. Extraction d'une tuile [Damiand *et al.* 2004] sans simplifier les sommets du bord des tuiles
 - bijection élémentaire φ entre $\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}$ et $\mathcal{B}_{\partial}^{t',t}$
2. Connexion des tuiles adjacentes
 - modèle global à partir des opérateurs δ_i
3. Algorithme de construction incrémental
 - opérations de chargement/déchargement

Connexion des tuiles adjacentes

Principe

1. Bords de t et t' non simplifiés
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de $\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}$ et de $\mathcal{B}_{\partial}^{t',t}$ et établir la bijection $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. Détecter les bords fictifs



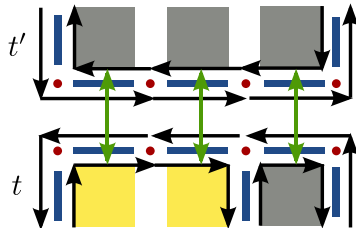
Opérateurs δ_i

- $\varphi^{t,t'}$ définit explicitement l'involution δ_2
- La permutation δ_1 est définie implicitement d'après β_2' et β_1

Connexion des tuiles adjacentes

Principe

1. Bords de t et t' non simplifiés
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de $\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}$ et de $\mathcal{B}_{\partial}^{t',t}$ et établir la bijection $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. Détecter les bords fictifs



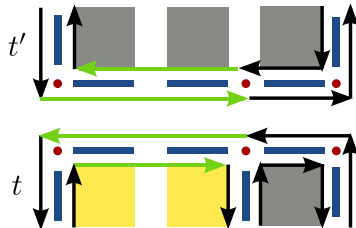
Opérateurs δ_i

- $\varphi^{t,t'}$ définit explicitement l'involution δ_2
- La permutation δ_1 est définie implicitement d'après β_2' et β_1

Connexion des tuiles adjacentes

Principe

1. Bords de t et t' non simplifiés
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de $\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}$ et de $\mathcal{B}_{\partial}^{t',t}$ et établir la bijection $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. Détecter les bords fictifs



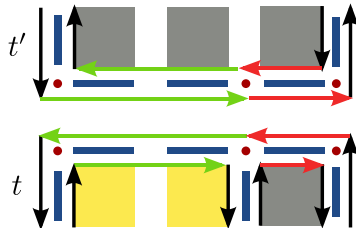
Opérateurs δ_i

- $\varphi^{t,t'}$ définit explicitement l'involution δ_2
- La permutation δ_1 est définie implicitement d'après β_2' et β_1

Connexion des tuiles adjacentes

Principe

1. Bords de t et t' non simplifiés
 $\Rightarrow \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}) = \text{card}(\mathcal{B}_{\partial}^{t',t})$
2. Parcourir en parallèle des brins de $\mathcal{B}_{\partial}^{t,t'}$ et de $\mathcal{B}_{\partial}^{t',t}$ et établir la bijection $\varphi^{t,t'}$
3. Simplifier les sommets de degré 2
4. Détecter les bords fictifs



Opérateurs δ_i

- $\varphi^{t,t'}$ définit explicitement l'involution δ_2
- La permutation δ_1 est définie implicitement d'après β'_2 et β_1

Extraction d'une carte tuilée

Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par β_1 et β_2 plongement	père fils composante connexe	marque sur les éléments frontières	

⇒ Carte combinatoire

Construction du modèle

- ✚ Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région

Extraction d'une carte tuilée

Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par β_1 et β_2 plongement	père fils composante connexe	marque sur les éléments frontières	

⇒ Arbre d'imbrication

Construction du modèle

- + Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région

Extraction d'une carte tuilée

Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par β_1 et β_2	père	marque sur les éléments frontières	
plongement	fil		
	composante connexe		

⇒ Géométrie

Construction du modèle

- + Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région

Extraction d'une carte tuilée

Opérations de chargement/déchargement

- Structure dynamique en mémoire / structure statique sur disque dur
- Identifiants entiers et uniques pour les brins/régions
- Un fichier par tuile contenant

Brins	Régions	Matrice interpixel	Infos tuile
images par β_1 et β_2 plongement	père fils composante connexe	marque sur les éléments frontières	

⇒ Tuile topologique

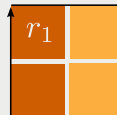
Construction du modèle

- + Espace mémoire *borné* (3 tuiles)
- Peu adapté au raffinement d'une région

Modification d'une carte tuilée

Raffinement d'une région dans une tuile

- Région initiale
- Décomposition
- Fusion



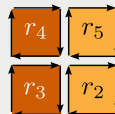
Raffinement d'une région dans une carte tuilée

- Région d'une carte tuilée = liste de régions r_i dans différentes tuiles
- Pour chaque région r_i
 - charger la tuile t contenant r_i
 - raffiner r_i
 - mettre à jour les bords fictifs de t et des tuiles adjacentes

Modification d'une carte tuilée

Raffinement d'une région dans une tuile

- Région initiale
- **Décomposition**
- Fusion



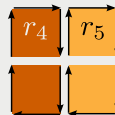
Raffinement d'une région dans une carte tuilée

- Région d'une carte tuilée = liste de régions r_i dans différentes tuiles
- Pour chaque région r_i
 - ☐ charger la tuile t contenant r_i
 - ☐ raffiner r_i
 - ☐ mettre à jour les bords fictifs de t et des tuiles adjacentes

Modification d'une carte tuilée

Raffinement d'une région dans une tuile

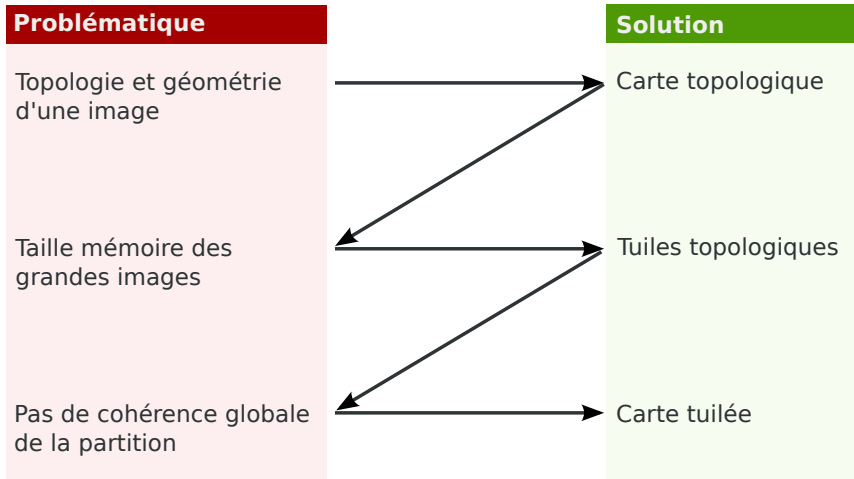
- Région initiale
- Décomposition
- **Fusion**



Raffinement d'une région dans une carte tuilée

- Région d'une carte tuilée = liste de régions r_i dans différentes tuiles
- Pour chaque région r_i
 - ☐ charger la tuile t contenant r_i
 - ☐ raffiner r_i
 - ☐ mettre à jour les bords fictifs de t et des tuiles adjacentes

Conclusion



- ➕ Modèle de représentation d'une grande image
- ➖ Ne permet pas d'utiliser l'information multi-échelle

Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

Tuiles topologiques

Cartes tuilées

Opérations de construction

Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

Définition

Projection

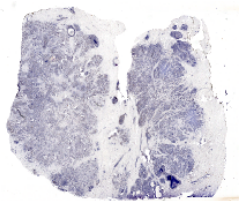
Raffinement

Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

Problématique

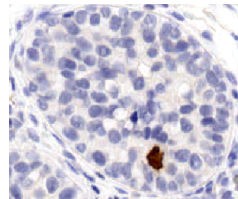


Résolution :	2048×1280
--------------	--------------------

Exemple de traitement	délimiter fond/tissu
-----------------------	----------------------

Résolution :	8192×5120
--------------	--------------------

Exemple de traitement	quantifier mitoses
-----------------------	--------------------



Objectifs

- Multi-échelle et multi-résolution
- Faisabilité mémoire des traitements

Pyramides combinatoires [Brun et Kropatsch 1993]

- ✚ Topologie d'une hiérarchie de partitions
- Construction ascendante
- Base = niveau de détail le plus élevé

Solution proposée

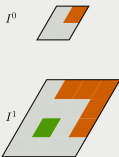
- ✚ Construction descendante
- ✚ Chaque niveau = carte tuilée

Définition

Pyramides descendantes tuilées

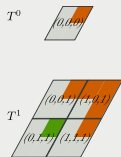
- Combinaison de trois modèles hiérarchiques
- Principe de causalité [Koenderink 1984]

Pyramide d'images



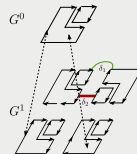
Aspect multi-résolution
des images

Pyramide de tuiles



Faisabilité mémoire
de la construction

Pyramide de cartes tuilées

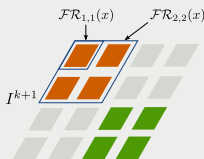


Combiner multi-échelle et
multi-résolution

Pyramide d'images

- Séquence d'images de résolutions croissantes
- Ratios entiers : r_x^k en largeur, r_y^k en hauteur

Fenêtres de réduction



$\mathcal{FR}_{m,n}(x)$: ensemble de $m \times n$ pixels correspondant à x au niveau $k + 1$ [Bister 1990]

Problématique

- Taille de fenêtre optimale ?
- Comment transposer cette notion dans une représentation interpixel ?

Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

Catégories de pyramides

- $Q < 1$: pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$: pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$: pyramide recouvrante

Conclusion

Privilégier $Q = 1$ pour :

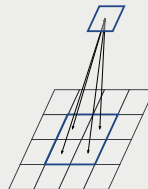
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

Catégories de pyramides

- $Q < 1$: pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$: pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$: pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2 / 16 < 1$$

Conclusion

Privilégier $Q = 1$ pour :

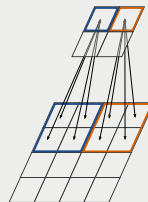
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

Catégories de pyramides

- $Q < 1$: pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$: pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$: pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2 / 4 = 1$$

Conclusion

Privilégier $Q = 1$ pour :

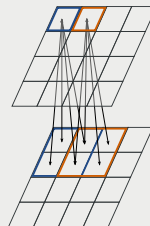
- représenter toute l'information
- éviter la redondance d'information

Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

Catégories de pyramides

- $Q < 1$: pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$: pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$: pyramide recouvrante



Conclusion

Privilégier $Q = 1$ pour :

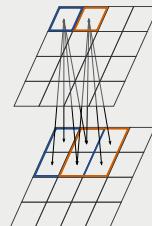
- ☐ représenter toute l'information
- ☐ éviter la redondance d'information

Fenêtres de réduction entre pixels

3 catégories selon $Q = (m \times n)/(r_x^k \times r_y^k)$

Catégories de pyramides

- $Q < 1$: pyramide trouée et non recouvrante
- $Q = 1$: pyramide non trouée et non recouvrante
- $Q > 1$: pyramide recouvrante



$$Q = 2 \times 2 / 1 > 1$$

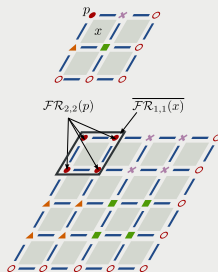
Conclusion

Privilégier $Q = 1$ pour :

- ☐ représenter toute l'information
- ☐ éviter la redondance d'information

Fenêtres de réduction entre pointels

Définition



- $\mathcal{FR}_{m,n}(p) = \overline{\mathcal{FR}_{m-1,n-1}(x)} \cap \mathcal{P}^{k+1}$
- $\mathcal{P}^k$: ensemble des pointels du niveau k
- x : pixel incident à p

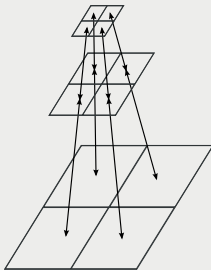
Résultat

La relation $\mathcal{FR}_{r_x^k, r_y^k}$ code une pyramide de pointels *non trouée* et *non recouvrante*.

Pyramide de tuiles

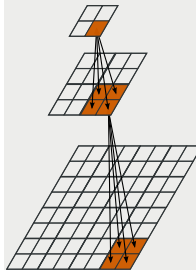
- Séquence de pavages réguliers
- Deux solutions pour une pyramide non-trouée et non-recouvrante :

Nombre de tuiles constant



- Taille de tuile de la base dépendant du premier niveau

Taille de tuile constante



- facteur de réduction entre tuiles = facteur de réduction dans la pyramide d'images
- similaire à un quadtree si ratio 2×2

- Taille de tuile bornée sur la base

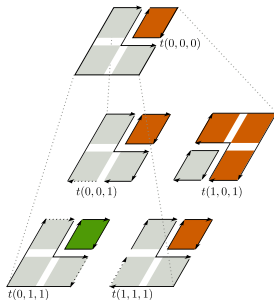
Pyramide de cartes tuilées

Définition

■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
- pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]

- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
- Relations *prédécesseur/successeur*



Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

Pyramide de cartes tuilées

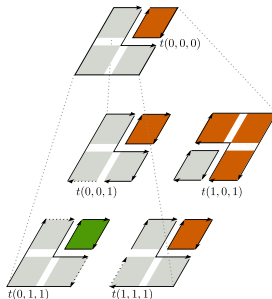
Définition

■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
- pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]

■ Séquence de cartes tuilées successivement raffinées

■ Relations *prédécesseur/successeur*



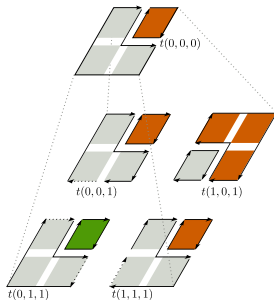
Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

Pyramide de cartes tuilées

Définition

- Combiner
 - pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
 - pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]
- Séquence de cartes tuilées successivement raffinées
- Relations *prédécesseur/successeur*



Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

Pyramide de cartes tuilées

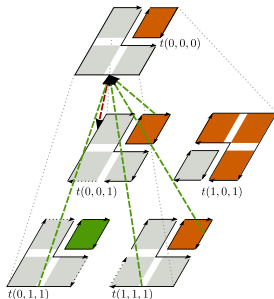
Définition

■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
- pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]

■ Séquence de cartes tuilées successivement raffinées

■ Relations *prédécesseur/successeur*



■ entre les brins

■ entre les régions

■ entre les tuiles

Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

Pyramide de cartes tuilées

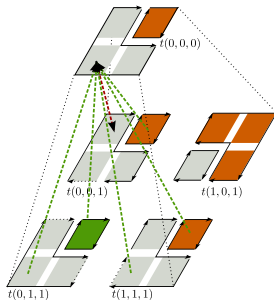
Définition

■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
- pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]

■ Séquence de cartes tuilées successivement raffinées

■ Relations *prédécesseur/successeur*



■ entre les brins

■ entre les régions

■ entre les tuiles

Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

Pyramide de cartes tuilées

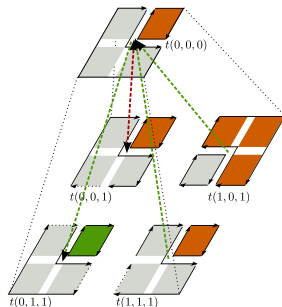
Définition

■ Combiner

- pyramide régulière = pile d'images tuilées [Jolion 1994]
- pyramide irrégulière = contenu des images [Meer 1989, Montanvert 1991]

■ Séquence de cartes tuilées successivement raffinées

■ Relations *prédécesseur/successeur*



- entre les brins
- entre les régions
- **entre les tuiles**

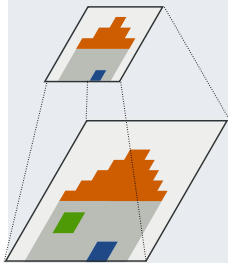
Propriétés

- topologiques
- géométriques
- hiérarchiques

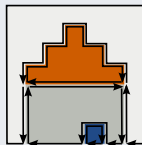
1ère étape du processus de construction

- Construction descendante garantie par opérations de découpe
- Causalité de la pyramide : projection des frontières du niveau précédent

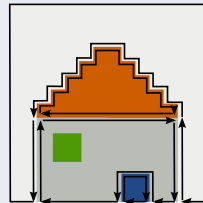
Processus de construction



Pyramide d'images



Niveau initial G^k



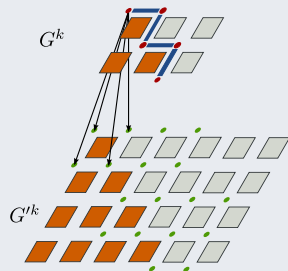
Projection G'^k

Projection des frontières

Objectif : Isomorphisme entre G^k et G'^k

Solution proposée : bande de projection

Ensemble des plongements géométriques possibles de niveau $k + 1$ d'une frontière de niveau k



Définition : $\mathcal{BP}(f) = P(f) \cup L(f)$

- $P(f) = \bigcup_i \mathcal{FR}_{r_x^k, r_y^k}(p_i)$: pointels de niveau $k + 1$ correspondant à f
- $L(f)$: lignels de niveau $k + 1$ incidents à 2 pointels de $P(f)$

Résultat sur les frontières

- Traitement particulier des extrémités
- Pas de chevauchements/déconnexions

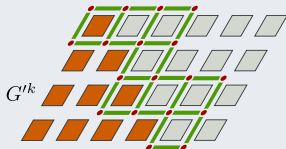
$\Rightarrow$ topologie préservée

Projection des frontières

Objectif : Isomorphisme entre G^k et G'^k

Solution proposée : bande de projection

Ensemble des plongements géométriques possibles de niveau $k + 1$ d'une frontière de niveau k



Définition : $\mathcal{BP}(f) = P(f) \cup L(f)$

- $P(f) = \bigcup_i \mathcal{FR}_{r_x^k, r_y^k}(p_i)$: pointels de niveau $k + 1$ correspondant à f
- $L(f)$: lignels de niveau $k + 1$ incidents à 2 pointels de $P(f)$

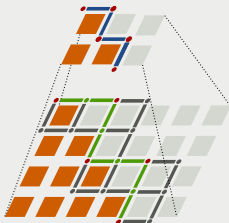
Résultat sur les frontières

- Traitement particulier des extrémités
- Pas de chevauchements/déconnexions

$\Rightarrow$ topologie préservée

Exemples de projections

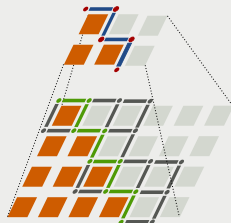
Projection directe



Projection des lignels suivant une ligne droite

- + Méthode simple et peu coûteuse
- Projection grossière

Projection optimisée



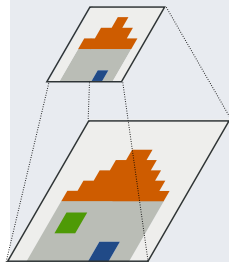
Calcul d'un plus court chemin (Dijkstra) dans la bande de projection

- Méthode plus coûteuse
- + Utilise l'information des pixels du niveau suivant

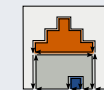
2ème étape du processus de construction

- Sélection des régions par un critère de focus d'attention
- Raffinement des régions sélectionnées

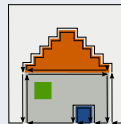
Processus de construction



Pyramide d'images



Niveau initial G^k

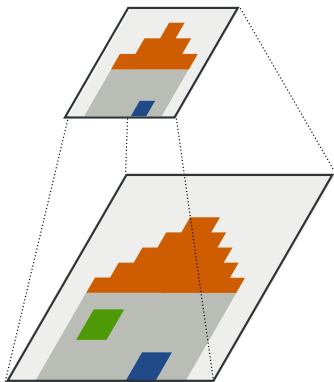


Projection G'^k



Raffinement G^{k+1}

Construction : principe général



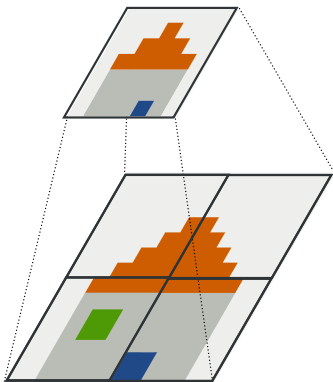
Étapes

- **Pyramide d'images**
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction G'^k et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

Oracle

- **Causalité** $\Rightarrow$ ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention** $\Rightarrow$ raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement** $\Rightarrow$ critère de découpe des régions

Construction : principe général



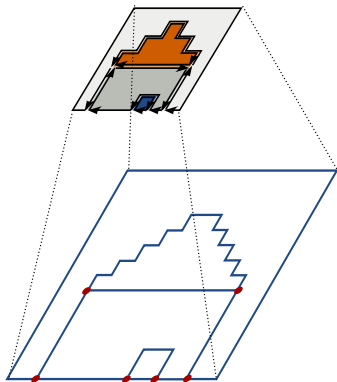
Étapes

- Pyramide d'images
- **Pyramide de tuiles**
- Projection des frontières
- Construction G'^k et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

Oracle

- **Causalité** $\Rightarrow$ ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention** $\Rightarrow$ raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement** $\Rightarrow$ critère de découpe des régions

Construction : principe général



Étapes

- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- **Projection des frontières**
- Construction G'^k et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

Oracle

- **Causalité** $\Rightarrow$ ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention** $\Rightarrow$ raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement** $\Rightarrow$ critère de découpe des régions

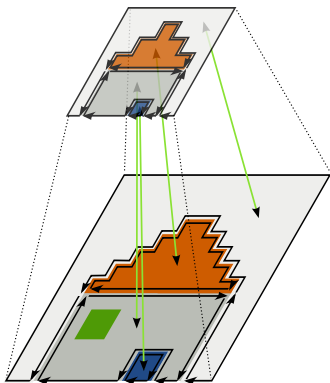
Construction : principe général

Étapes

- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction G'^k et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

Oracle

- Causalité $\Rightarrow$ ne pas modifier les arêtes projetées
- Focus d'attention $\Rightarrow$ raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- Raffinement $\Rightarrow$ critère de découpe des régions



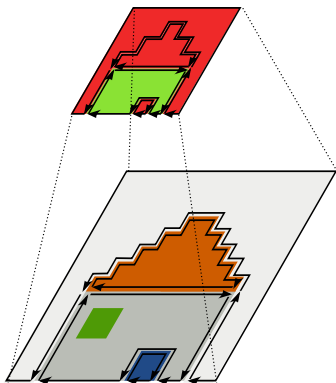
Construction : principe général

Étapes

- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction G'^k et relations *prédécesseur/successeur*
- **Focus d'attention**
- Découpe des régions

Oracle

- **Causalité** $\Rightarrow$ ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention** $\Rightarrow$ raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement** $\Rightarrow$ critère de découpe des régions



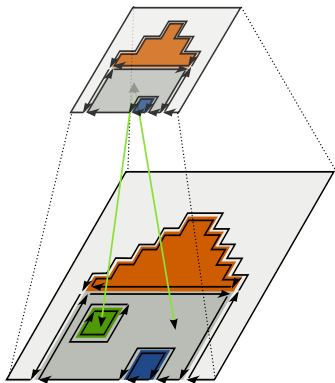
Construction : principe général

Étapes

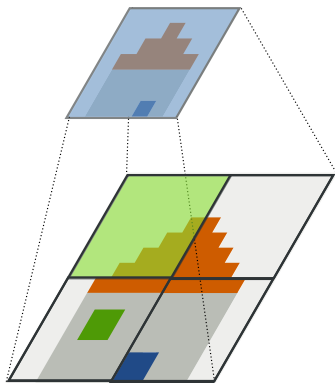
- Pyramide d'images
- Pyramide de tuiles
- Projection des frontières
- Construction G'^k et relations *prédécesseur/successeur*
- Focus d'attention
- Découpe des régions

Oracle

- **Causalité** $\Rightarrow$ ne pas modifier les arêtes projetées
- **Focus d'attention** $\Rightarrow$ raffiner *uniquement* les régions d'intérêt
- **Raffinement** $\Rightarrow$ critère de découpe des régions



Construction : extraction d'une tuile



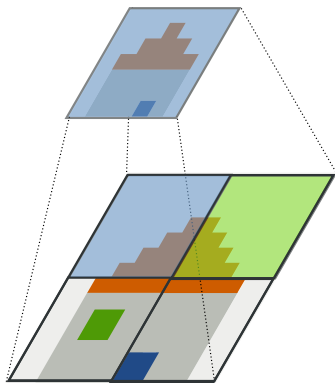
Étapes

- Extraction de $t(1, 0, 0)$
- Extraction de $t(1, 1, 0)$
- Extraction de $t(1, 0, 1)$
- Extraction de $t(1, 1, 1)$

Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

Construction : extraction d'une tuile



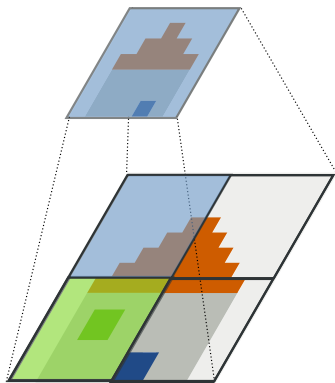
Étapes

- Extraction de $t(1, 0, 0)$
- **Extraction de $t(1, 1, 0)$**
- Extraction de $t(1, 0, 1)$
- Extraction de $t(1, 1, 1)$

Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

Construction : extraction d'une tuile



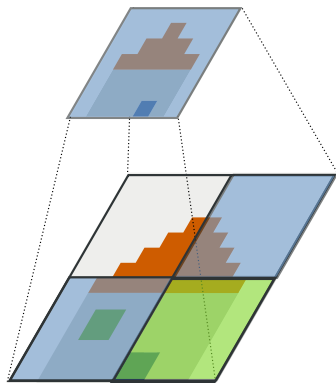
Étapes

- Extraction de $t(1, 0, 0)$
- Extraction de $t(1, 1, 0)$
- Extraction de $t(1, 0, 1)$
- Extraction de $t(1, 1, 1)$

Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

Construction : extraction d'une tuile



Étapes

- Extraction de $t(1, 0, 0)$
- Extraction de $t(1, 1, 0)$
- Extraction de $t(1, 0, 1)$
- Extraction de $t(1, 1, 1)$

Résultat

Maximum de 4 tuiles en mémoire

Conclusion

Problématique

Images histologiques
multi-résolutions

Topologie multi-échelle

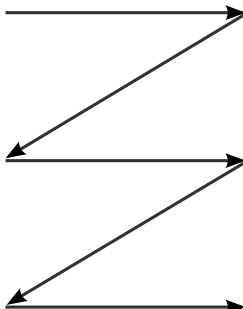
Taille mémoire de
la pyramide

Solution

Pyramide régulière

Pyramide combinatoire

Pyramide descendante tuilée



Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

 Tuiles topologiques

 Cartes tuilées

 Opérations de construction

 Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

 Définition

 Projection

 Raffinement

 Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

Segmentation à l'aide d'une pyramide descendante tuilée

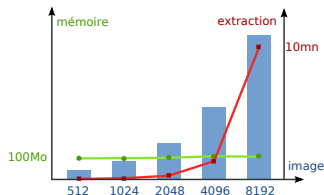
Principe

- Critère de segmentation = Oracle de construction
- Oracle = combinaison de propriétés fournies par le modèle

Exemple



Critère photométrique et hiérarchique :
variance des pixels de la région parente
⇒ raffinement des régions hétérogènes



- **Durée d'extraction** linéaire suivant la taille de l'image
- **Mémoire** constante dépendant de la taille d'une tuile

Segmentation à l'aide d'une pyramide descendante tuilée

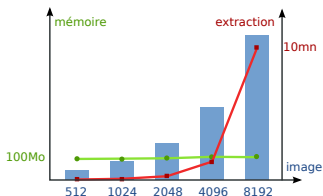
Principe

- Critère de segmentation = Oracle de construction
- Oracle = combinaison de propriétés fournies par le modèle

Exemple



Critère photométrique et hiérarchique :
variance des pixels de la région parente
⇒ raffinement des régions hétérogènes



- **Durée d'extraction** linéaire suivant la taille de l'image
- **Mémoire** constante dépendant de la taille d'une tuile

Segmentation à l'aide d'une pyramide descendante tuilée

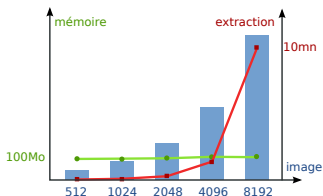
Principe

- Critère de segmentation = Oracle de construction
- Oracle = combinaison de propriétés fournies par le modèle

Exemple

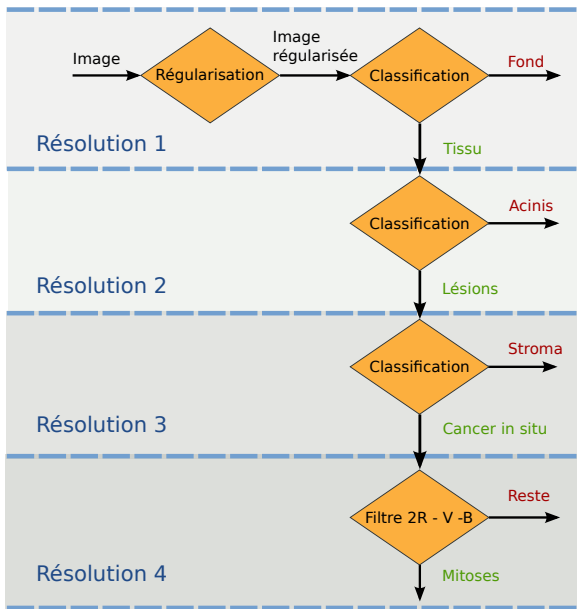


Critère photométrique et hiérarchique :
variance des pixels de la région parente
⇒ raffinement des régions hétérogènes



- **Durée d'extraction** linéaire suivant la taille de l'image
- **Mémoire** constante dépendant de la taille d'une tuile

Segmentation d'images histologiques



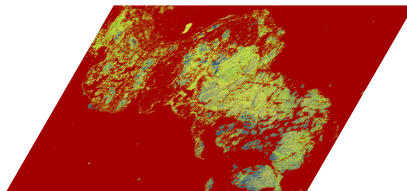
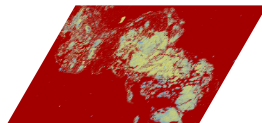
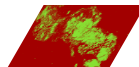
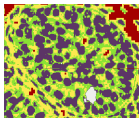
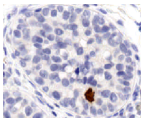
Exemples de segmentation

Image

- Résolution 1 : $2\,048 \times 1\,280$
- Résolution 2 : $4\,096 \times 2\,560$
- Résolution 3 : $8\,192 \times 5\,120$

Modèle

- Nombre de tuiles : 840
- Durée d'extraction : $\sim 4\text{mn}$
- Mémoire : $\sim 100\text{Mo}$



Introduction

Notions préliminaires

Cartes tuilées

- Tuiles topologiques

- Cartes tuilées

- Opérations de construction

- Conclusion

Pyramides descendantes tuilées

- Définition

- Projection

- Raffinement

- Conclusion

Segmentation de grandes images

Conclusion

Contributions

Problématique

Codage de grandes partitions

Solution proposée

- Notion de tuile topologique
- Abstraction de la notion de tuile
- Méthodes complémentaires

Apports

- Topologie et géométrie de la partition
- Taille mémoire bornée
- Critères multiples de segmentation

Contributions

Problématique

Codage de l'information multi-échelle et multi-résolution de grandes partitions

Solution proposée

- Définition d'un modèle combinant :
 - une pyramide d'images
 - une pyramide de tuiles
 - une pyramide de cartes tuilées
- Méthodes de projection
- Méthodes de raffinement garantissant la causalité

Apports

- Construction descendante
- Information photométrique, topologique, géométrique, hiérarchique
- Reproduction de l'analyse naturelle des pathologistes
- Taille mémoire bornée

Contributions

Problématique

Codage de l'information multi-échelle et multi-résolution de grandes partitions

Solution proposée

- Définition d'un modèle combinant :
 - une pyramide d'images
 - **une pyramide de tuiles**
 - une pyramide de cartes tuilées
- Méthodes de projection
- Méthodes de raffinement garantissant la causalité

Apports

- Construction descendante
- Information photométrique, topologique, géométrique, hiérarchique
- Reproduction de l'analyse naturelle des pathologistes
- Taille mémoire bornée

Contributions

Problématique

Codage de l'information multi-échelle et multi-résolution de grandes partitions

Solution proposée

- Définition d'un modèle combinant :
 - une pyramide d'images
 - une pyramide de tuiles
 - **une pyramide de cartes tuilées**
- Méthodes de projection
- Méthodes de raffinement garantissant la causalité

Apports

- Construction descendante
- Information photométrique, topologique, géométrique, hiérarchique
- Reproduction de l'analyse naturelle des pathologistes
- Taille mémoire bornée

Perspectives

Définition du modèle

- Carte tuilée : arbre global des relations d'imbrication
- Pyramide : opérations de relinking

Opérations sur le modèle

Partitions déformables : raffiner la géométrie à topologie constante

Extension du modèle

Généralisation des cartes tuilées en dimension supérieure

Merci de votre attention