

IC2

Traité Information et Science du Vivant

Traitement et analyse d'images cardiaques

sous la direction de
Patrick Clarysse
Denis Friboulet

 **hermes**

Lavoisier

Table des matières

Avant-propos	17
Patrick CLARYSSE et Denis FRIBOULET	
Remerciements	19
Introduction	21
Patrick CLARYSSE et Denis FRIBOULET	
PREMIÈRE PARTIE. BASES MÉTHODOLOGIQUES	23
Chapitre 1. Extraction et segmentation de structures dans des séquences d'images	25
Olivier BERNARD, Patrick CLARYSSE, Thomas DIETENBECK, Denis FRIBOULET, Stéphanie JEHAN-BESSON et Jérôme POUSIN	
1.1. Problématique	25
1.2. Panorama des méthodes de segmentation	26
1.3. Synthèse des différentes classes de modèles déformables	28
1.3.1. Approches non énergétiques	29
1.3.2. Approches énergétiques	30
1.4. Gabarits déformables	33
1.4.1. Principe du gabarit déformable élastique	34
1.4.2. Gabarit déformable élastique dynamique	35
1.4.3. Gabarit déformable élastique et analyse modale	36
1.4.4. Le gabarit déformable élastique en pratique	37

1.5. Contours actifs variationnels	38
1.5.1. Représentations du contour actif	39
1.5.2. La fonctionnelle d'énergie	42
1.5.3. Obtention de l'équation d'évolution	48
1.5.4. Implémentation numérique de l'ensemble de niveaux	54
1.6. Intégration de contraintes <i>a priori</i> dans le formalisme des contours variationnels	55
1.6.1. <i>A priori</i> de forme	55
1.6.2. <i>A priori</i> de mouvement	58
1.7. Exemple de mise en œuvre en imagerie cardiaque	63
1.7.1. Imagerie échographique : choix du terme d'attache aux données	63
1.7.2. Un exemple de segmentation d'images en échocardiographie 3D	65
1.7.3. Un exemple de segmentation d'images en échocardiographie 2D	66
1.8. Conclusion	70
1.9. Bibliographie	70

Chapitre 2. Estimation et analyse du mouvement 83

Patrick CLARYSSE et Jérôme POUSIN

2.1. Problématique	83
2.2. Formulation du problème	84
2.3. Méthodes de transport	85
2.3.1. Flux optique	85
2.3.2. Estimation de mouvement vue comme un problème de transport optimal	88
2.4. Approches probabilistes	90
2.5. Recalage d'images	93
2.5.1. La transformation	94
2.5.2. La fonction de ressemblance	94
2.5.3. L'optimisation	95
2.5.4. Considérations pratiques	96
2.6. Méthodes locales	96
2.6.1. Mise en correspondance de blocs ou de primitives	96
2.6.2. Estimation aux moindres carrés	97
2.7. Méthodes hybrides	98
2.7.1. Méthodes basées sur le spectre de puissance	98
2.7.2. Description spatio-temporelle	99

2.8. Méthodes basées sur la phase	101
2.8.1. Méthode de Fleet et Jepson	102
2.8.2. Signal analytique et monogène	102
2.8.3. Méthodes de phase harmonique	104
2.9. Recalage et estimation de mouvement dans une séquence d'images	105
2.9.1. Description lagrangienne	106
2.9.2. Description eulérienne	107
2.9.3. Stratégies pour l'estimation en séquence	107
2.10. Evaluation des méthodes d'estimation de mouvement	109
2.11. Conclusion	110
2.12. Bibliographie	110

Chapitre 3. Analyse, méthodes et post-traitements d'images par résonance magnétique dynamiques pour la quantification de la perfusion myocardique 117

Bruno NEYRAN et Magalie VIALLO

3.1. Introduction	117
3.2. Mesure dynamique de la perfusion à l'aide d'agents de contraste : rappel sur les séquences IRM et les différents agents de contraste utilisés	120
3.2.1. Bref rappel sur les séquences de perfusion en IRM cardiaque	120
3.2.2. Conversion signal IRM/concentration de traceur	121
3.2.3. Les différents agents de contraste candidats en clinique	122
3.3. Correction du mouvement et segmentation des contours du myocarde : pré-traitements importants avant l'analyse quantitative	123
3.3.1. Recalage des images dynamiques	123
3.3.2. Extraction automatique des contours	123
3.4. Analyse semi-quantitative de la perfusion : calcul de paramètres relatifs dépendant de l'injection du produit de contraste	123
3.4.1. Paramètres semi-quantitatifs de perfusion	124
3.4.2. Modélisation heuristique par une fonction gamma variée	125
3.4.3. Modélisation heuristique par une fonction bi-exponentielle	127
3.4.4. Modélisation heuristique par le modèle de Moate	128
3.5. Paramètres absolus indépendants de l'injection du produit de contraste (prise en compte de l'entrée artérielle) : modélisation pharmaco-cinétique	130

3.5.1. Etude générale : théorie des traceurs cinétiques	131
3.5.2. Identification de la fonction résiduelle	139
3.6. Conclusion	144
3.7. Bibliographie	145

Chapitre 4. Décomposition tensorielle d'une séquence dynamique d'images en éléments simples

Frédérique FROUIN et Claire PELLOT-BARAKAT

4.1. Problématique	151
4.2. Panorama des méthodes d'analyse quantitative des séquences dynamiques d'images	153
4.2.1. Méthode des régions d'intérêt	153
4.2.2. Méthodes d'imagerie paramétrique	154
4.2.3. Méthodes pour l'analyse du mouvement	154
4.2.4. Décomposition tensorielle d'une séquence d'images en éléments simples	155
4.3. Méthodes pour une décomposition tensorielle d'une séquence d'images en éléments simples	156
4.3.1. Notations et principe de décomposition	156
4.3.2. Décomposition orthogonale d'une séquence d'images	156
4.3.3. Décomposition en éléments simples	157
4.4. Spécifications pour les études de suivi d'un radiotraceur ou d'un produit de contraste	158
4.4.1. Objectifs de l'approche proposée et définition des contraintes associées	158
4.4.2. Principe d'estimation des composantes	159
4.4.3. Exemple de décomposition tensorielle en éléments simples sur une étude de perfusion myocardique	162
4.4.4. Limites de l'approche proposée	163
4.4.5. Applications cliniques de cette décomposition tensorielle en éléments simples pour l'imagerie cardiaque	164
4.5. Spécifications pour l'étude du mouvement cardiaque	165
4.5.1. Objectifs de l'approche proposée et définition des contraintes associées	165
4.5.2. Résolution par méthode de décomposition tensorielle	166
4.5.3. Extensions du modèle de décomposition tensorielle	170
4.5.4. Applications cliniques et perspectives	173
4.6. Conclusion	174
4.7. Bibliographie	174

DEUXIÈME PARTIE. EXEMPLES D'APPLICATIONS 177**Chapitre 5. Evaluation de la segmentation des structures cardiaques
en imagerie dynamique par résonance magnétique 179**

Alain LALANDE, Mireille GARREAU, Frédérique FROUIN
et groupe GRIC-MEDIEVAL

5.1. Contexte : intérêt de la segmentation automatique des structures cardiaques	179
5.1.1. Ciné-IRM en orientation petit axe	179
5.1.2. Ventricule gauche et ventricule droit	180
5.2. Nécessité de l'évaluation	183
5.2.1. La place de l'évaluation	183
5.2.2. Méthodes analytiques et empiriques	184
5.3. Méthodes d'évaluation empiriques	185
5.4. Méthodes d'évaluation visuelle	187
5.5. Méthodes supervisées	187
5.5.1. Définition d'une référence	188
5.5.2. Création d'une base de données expertisées	190
5.5.3. Critères d'évaluation : approches basées frontière	191
5.5.4. Critères d'évaluation : approches basées région	195
5.5.5. Méthodes supervisées pour l'estimation d'un paramètre clinique	198
5.5.6. Les courbes ROC	199
5.5.7. Comparaison des méthodes supervisées	200
5.5.8. Limites des méthodes supervisées	201
5.6. Méthodes d'évaluation non supervisées	203
5.6.1. Méthodes non supervisées se basant sur des descripteurs basés région et/ou frontière	204
5.6.2. Méthodes exploitant un paramètre clinique	207
5.6.3. Méthodes d'estimation d'une segmentation de référence	209
5.6.4. Difficultés des méthodes non supervisées	210
5.7. Conclusion	210
5.8. Groupes de travail IMPEIC et MEDIEVAL	212
5.9. Bibliographie	213

**Chapitre 6. Estimation du mouvement du cœur basée sur la phase
en imagerie cardiaque multimodalités 221**

Martino ALESSANDRINI, Adrian BASARAB, Olivier BERNARD
et Philippe DELACHARTRE

6.1. Images de phase	222
6.1.1. Signaux analytiques multidimensionnels	222
6.1.2. Signal monogène	223

6.2. Estimation de mouvement par flux optique sur la phase de deux signaux analytiques simple-orthants et en utilisant un maillage déformable – Application à des séquences IRM cardiaques	225
6.2.1. Méthode de flux optique appliquée aux images de phases spatiales	227
6.2.2. Modélisation paramétrique du mouvement local	229
6.2.3. Estimation de trajectoires	231
6.2.4. Résultats	234
6.2.5. Conclusion	239
6.3. Estimation de mouvement par flux optique sur la phase monogène en utilisant un modèle local affine et une analyse multi-échelle – Application à des séquences cardiaques ultrasonores	239
6.3.1. Modèle affine	240
6.3.2. Choix multi-échelle de la taille de la fenêtre	241
6.3.3. Raffinement itératif du déplacement	241
6.4. Bibliographie	247

Chapitre 7. Estimation du mouvement cardiaque en IRM marquée 249

Patrick CLARYSSE et Pierre CROISILLE

7.1. Quantification du mouvement par la méthode <i>SinMod</i>	250
7.2. Chaîne de traitement et fonctionnalités du logiciel <i>inTag</i>	252
7.2.1. Données et paramètres d'entrée	252
7.2.2. Estimation des champs de mouvement	253
7.2.3. Extraction des contours du VG	253
7.2.4. Quantification du mouvement du VG	254
7.3. Perspectives	254
7.4. Bibliographie	255

Chapitre 8. Estimation du mouvement du ventricule gauche en imagerie tomодensitométrique 257

Antoine SIMON, Mireille GARREAU, Régis DELAUNAY,

Dominique BOULMIER, Erwan DONAL et Christophe LECLERCQ

8.1. Introduction	257
8.1.1. Problème clinique et objectifs	257
8.1.2. Choix technologique : l'imagerie TDM cardiaque	258
8.1.3. Etat de l'art et positionnement des méthodes	259
8.2. Méthode de mise en correspondance de surfaces	261
8.2.1. Etape de segmentation et de reconstruction de surface	262
8.2.2. Mise en correspondance surface-surface	263
8.3. Evaluation de l'approche surface-surface	266
8.3.1. Données simulées	267
8.3.2. Données réelles	269

8.4. Conclusion sur l'approche surface-surface	277
8.5. Méthode de mise en correspondance d'une surface et d'un volume : approche surface-volume	277
8.6. Evaluation de l'approche surface-volume	279
8.6.1. Données simulées	279
8.6.2. Données réelles	281
8.7. Conclusion	284
8.8. Remerciements	286
8.9. Bibliographie	286
TROISIÈME PARTIE. VERS LA CARDIOLOGIE PATIENT SPÉCIFIQUE . . .	291

Chapitre 9. Personnalisation de modèles électromécaniques de la fonction ventriculaire cardiaque par assimilation de données cliniques hétérogènes	293
Stéphanie MARCHESSEAU, Maxime SERMESANT, Florence BILLET, Hervé DELINGETTE et Nicholas AYACHE	
9.1. Introduction	293
9.2. Personnalisation de l'anatomie et de l'électrophysiologie à partir des données cliniques	296
9.2.1. Personnalisation de l'anatomie du cœur et de la structure tissulaire	296
9.2.2. Personnalisation de l'électrophysiologie cardiaque	298
9.3. Modélisation de la mécanique du cœur	300
9.3.1. Modélisation du couplage électromécanique de Bestel-Clément-Sorine	300
9.3.2. Modélisation du flux sanguin	302
9.3.3. Conditions aux bords	303
9.3.4. Discussion sur ce modèle	303
9.4. Traitement des données images : personnalisation de la cinématique cardiaque	304
9.4.1. Métrique pour la comparaison entre les mouvements observés et simulés	305
9.4.2. Interpolation temporelle des données	305
9.4.3. Approche par modèles déformables	305
9.4.4. Cas des données de déplacement	307
9.4.5. Cas de données de vitesse	308
9.4.6. Résultats avec des données en ciné-IRM	309
9.4.7. Résultats à partir de données TDM dynamiques	309
9.5. Calibration des paramètres mécaniques à partir de données globales	311
9.5.1. Description des données disponibles	311

16 Traitement et analyse d'images cardiaques

9.5.2. Calibration par la transformation sans odeur (<i>Unscented Transform</i>)	312
9.5.3. Résultats de la calibration sur des volontaires sains	314
9.5.4. Résultats de la calibration sur des cas pathologiques	314
9.6. Personnalisation mécanique par assimilation de données variationnelle	315
9.6.1. Approche variationnelle sur modèle simplifié	316
9.6.2. Application sur cas synthétiques	317
9.6.3. Application sur cas cliniques	318
9.6.4. Approche séquentielle sur modèle complet	319
9.7. Conclusion	319
9.8. Bibliographie	320

Conclusion	327
-----------------------------	-----

Patrick CLARYSSE et Denis FRIBOULET

Annexe A. Plans de coupe en imagerie cardiaque	331
---	-----

Charles DE BOURGUIGNON, Patrick CLARYSSE et Denis FRIBOULET

Annexe B. Analyse, méthodes et post-traitements d'images par RM dynamiques pour la quantification de la perfusion myocardique	335
--	-----

Bruno NEYRAN et Magalie VIALLO

Index	339
------------------------	-----