

Méthodes Numériques pour une Reconstruction et un Recalage Couplés

En Mammographie Numérique par Tomosynthèse (MNT)

Alex Delalande, Baptiste Doyen, Lorenzo Croissant

Mercredi 28 Novembre 2018

Introduction à l'Imagerie Médicale

Introduction

Le Dépistage du Cancer du Sein

La MNT promet d'améliorer l'image fournie aux radiologues et ainsi :

- Augmenter la **sensibilité** de l'examen
- Réduire le taux de **rappel**
- Produire des coupes synthétiques
- Cacher les structures hors d'une coupe

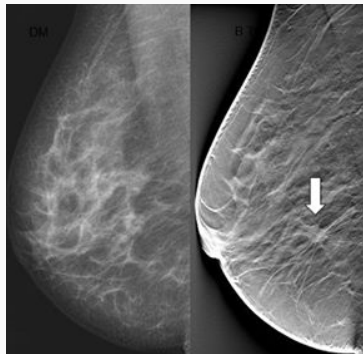


FIGURE 1 – À gauche, mammographie ; à droite, MNT.

Source : Yang et al. [2]

La Mammographie Numérique par Tomosynthèse

On dénote :

- Le volume réel, f_r
- Le système d'acquisition, A
- Les projections acquises, $p := Af_r$.

La MNT induit deux problèmes :

- La **reconstruction** : trouver \hat{f} tel que $A\hat{f} \approx p$.
- Le **recalage** trouver la transformation T telle que $f_2 = T(f_1)$.

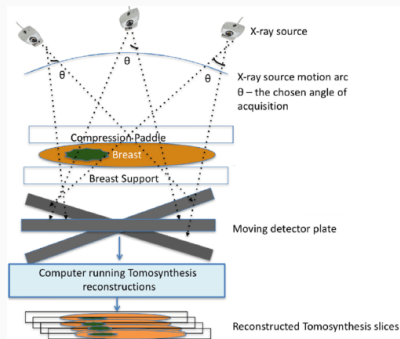


FIGURE 2 – Principe de la MNT.

Source : Mall et al.^[1]

Une table des matières

Méthodes

Méthode Conventionnelle

Méthode Itérative

Méthode Couplée

Implementation & Resultats

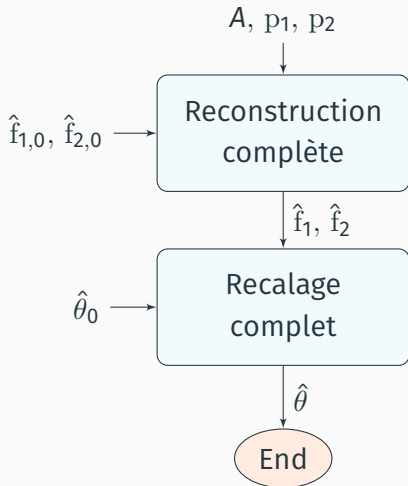
Discussion

Méthodes

Méthode Conventionnelle

On traite traditionnellement les deux problèmes complètement séparément.

- Sont connus : A , p_1 , p_2 .
- On initialise avec : $\hat{f}_{1,0}$, $\hat{f}_{2,0}$, $\hat{\theta}_0$.
- On reconstruit les deux images : \hat{f}_1 , \hat{f}_2 .
- On recalc \hat{f}_1 sur \hat{f}_2 en trouvant $\hat{\theta}$.

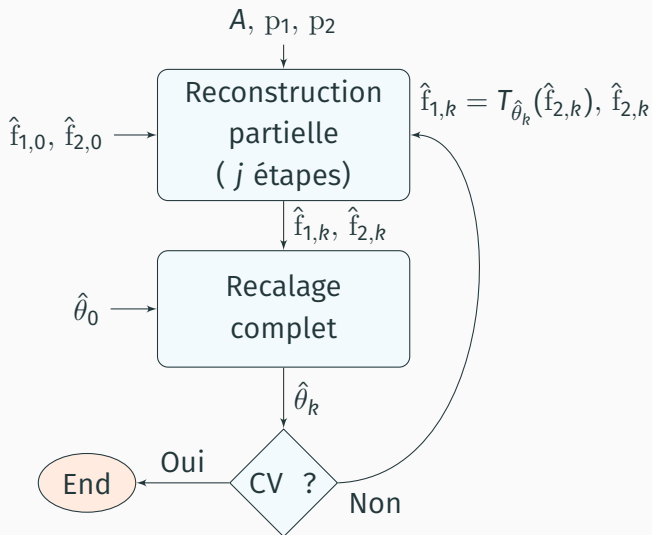


$$\hat{f}_1 = \operatorname{argmin}_{f_1} \left(\frac{1}{2} \|Af_1 - p_1\|_F^2 \right)$$

$$\hat{f}_2 = \operatorname{argmin}_{f_2} \left(\frac{1}{2} \|Af_2 - p_2\|_F^2 \right)$$

$$\hat{\theta} = \operatorname{argmin}_{\theta} \left(\frac{1}{2} \|T_{\theta}(\hat{f}_2) - \hat{f}_1\|_F^2 \right)$$

Méthode Itérative



Pendant j étapes :

$$\hat{f}_{1,k} = \operatorname{argmin}_{f_1} \left(\frac{1}{2} \|A f_1 - p_1\|_F^2 \right)$$

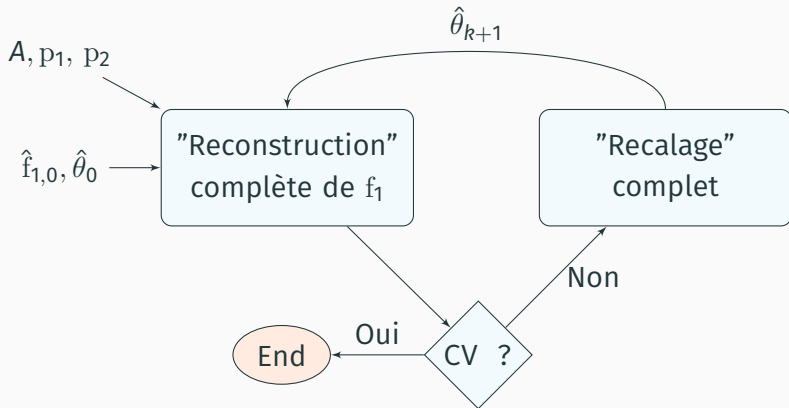
$$\hat{f}_{2,k} = \operatorname{argmin}_{f_2} \left(\frac{1}{2} \|A f_2 - p_2\|_F^2 \right)$$

Puis :

$$\hat{\theta}_k = \operatorname{argmin}_{\theta} \left(\frac{1}{2} \|T_{\theta}(\hat{f}_{2,k}) - \hat{f}_{1,k}\|_F^2 \right)$$

$$\hat{f}_{1,k+1} = T_{\theta_k}(\hat{f}_{2,k})$$

Méthode Couplée



$$\hat{f}_1, \hat{\theta} = \underset{f_1, \theta}{\operatorname{argmin}} J(f_1, \theta) \quad \text{où}$$

$$J(f_1, \theta) = \frac{1}{2} \left(\|Af_1 - p_1\|_F^2 + \|AT_\theta(f_1) - p_2\|_F^2 \right)$$

Minimisation alternée découplée :

$$\hat{f}_{1,k+1} = \underset{f_1}{\operatorname{argmin}} J(f_{1,k}, \theta_k)$$

$$\hat{\theta}_{k+1} = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} J(\hat{f}_{1,k+1}, \theta_k)$$

Remarque : différent de la méthode alternée

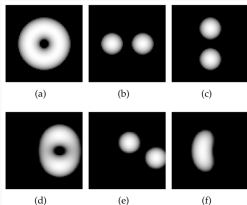
- Une seule forme estimée
- Gradient de la fonction objectif :

$$\frac{\partial J}{\partial f_1} = A^T(Af_1 - p_1) + T_\theta^* A^T(AT_\theta f_1 - p_2)$$
$$\frac{\partial J}{\partial \theta} = (A \frac{dT_\theta}{d\theta} f_1)^T(AT_\theta f_1 - p_2)$$

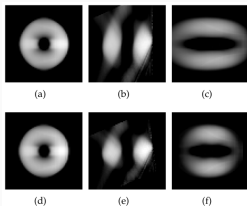
Implementation & Resultats

- Transformations : affine + B-spline
- Tomosynthèse d'un volume exemple, d'une MNT simulée et d'un IRM mammaire réel non comprimé

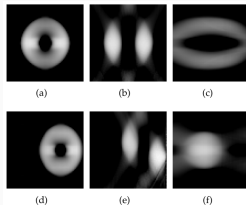
Résultats sur un tore plein



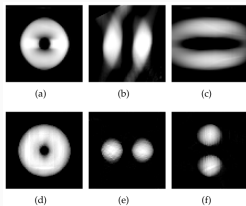
(a) Volumes 1 et 2



(c) Reconstruction séquentielle
VS. itérative du volume 1

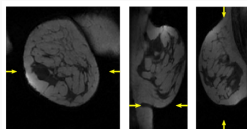


(b) Reconstruction séquentielle
des volumes 1 et 2



(d) Reconstruction séquentielle
VS. couplée du volume 1

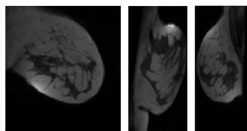
Résultats sur un IRM Mammaire non comprimé



(a)

(b)

(c)

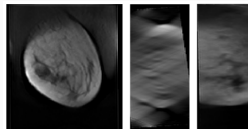


(d)

(e)

(f)

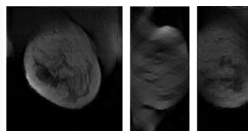
(e) Volumes 1 et 2



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

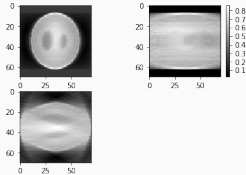
(f)

(f) Reconstruction séquentielle
et couplées du volume 1

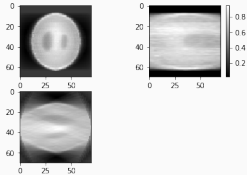
	Initial	Sequential Method	Simultaneous Method
Toroid Phantom	1	0.0057	0.0002
Uncompressed Breast MRI	1	0.0051	0.0026
In-vivo DBT simulation	1	0.0058	0.0051

FIGURE 3 – Erreur relative ($\frac{\|f_1 - \hat{f}_1\|^2}{\|f_1\|^2}$)

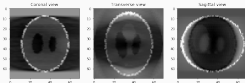
Résultats des B-splines



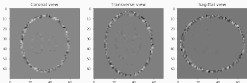
(a) Volumes 1 reconstruit par moindres carrés



(b) Volume 2 reconstruit par moindres carrés



(c) Volume 1 reconstruit par itération



(d) Volume 2 reconstruit par itération

Discussion

- Algorithmes d'optimisation \implies paramètres (nombre d'itérations, critère de convergence). En pratique, les performances peuvent "s'échanger" entre les méthodes selon ces paramètres (forte dépendance)
- Méthode couplée : génération d'artefacts \implies nuisible à la détection des lésions
- Pas d'évaluation des recalages (parfois impossible!)

- Méthodes d'optimisation peuvent être coûteuses pour des données de haute résolution
- Couplage vu comme une augmentation du nombre de projections : peut diminuer les différences entre f_1 et f_2 qui sont essentielles au suivi
- Objectifs pourraient intégrer la tâche de détection des lésions

- Evaluations des recalages
- Evaluation de l'influence du type et du niveau de transformation
- Prise en compte de la tâche de détection et suivi des lésions
- Optimisation distribuée

Merci de votre attention!

Problèmes

$$\hat{f}_1 = \operatorname{argmin}_{f_1} \left(\frac{1}{2} \|A f_1 - p_1\|_F^2 \right) \quad (\text{Conventionnelle})$$

$$\hat{f}_2 = \operatorname{argmin}_{f_2} \left(\frac{1}{2} \|A f_2 - p_2\|_F^2 \right) \quad (\text{Conventionnelle})$$

$$\hat{\theta} = \operatorname{argmin}_{\theta} \left(\frac{1}{2} \|T_{\theta}(\hat{f}_2) - \hat{f}_1\|_F^2 \right) \quad (\text{Conventionnelle})$$

$$\hat{f}_1, \hat{\theta} = \operatorname{argmin}_{f_1, \theta} \frac{1}{2} \left(\|A f_1 - p_1\|_F^2 + \|A T_{\theta}(f_1) - p_2\|_F^2 \right) \quad (\text{Couplée})$$

Gradients

$$\frac{\partial J}{\partial f_1} = A^T(Af_1 - p_1) + T_\theta^* A^T(AT_\theta f_1 - p_2) \quad (\text{Couplée})$$

$$\frac{\partial J}{\partial \theta} = (A \frac{dT_\theta}{d\theta} f_1)^T (AT_\theta f_1 - p_2) \quad (\text{Couplée})$$

Références

- [1] Mall, S., S. Lewis, P. Brennan, J. Noakes, and C. Mello-Thoms
2017. The role of digital breast tomosynthesis in the breast assessment clinic : A review. *Journal of medical radiation sciences*.
- [2] Yang, G., J. H. Hipwell, D. J. Hawkes, and S. R. Arridge
2013. Numerical methods for coupled reconstruction and registration in digital breast tomosynthesis. *CoRR*, abs/1307.6008.