

fiche de lecture:

nael klein

December 2025

1 Informations générales

1.1 Titre

Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering

1.2 Auteurs

Kostadin Dabov, Alessandro Foi, Vladimir Katkovnik, Karen Egiazarian

1.3 Année

2007 — IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 16, No. 8

1.4 Source / DOI / PDF

PDF : BM3D_TIP_2007.pdf

DOI : 10.1109/TIP.2007.901238

2 Résumé de l'article

L'article présente BM3D, une méthode de débruitage d'images fondée sur la mise en commun de fragments d'image similaires au sein de volumes 3D, puis sur un filtrage collaboratif appliqué dans le domaine transformé. L'approche repose sur trois éléments essentiels : la recherche de patches similaires (block-matching), l'application d'une transformée 3D séparée, et un filtrage par seuilage ou via un Wiener collaboratif. L'ensemble permet d'obtenir une représentation fortement clairesmée, favorable à une atténuation efficace du bruit. Les auteurs montrent que BM3D surpasse les méthodes de référence contemporaines, tant en PSNR qu'en qualité visuelle, tout en conservant une complexité raisonnable.

3 Objectifs

- Exploiter la redondance interne des images pour améliorer le débruitage.
- Introduire un filtrage collaboratif capable de préserver les détails fins, les textures et les arêtes.
- Proposer une méthode modulaire permettant un compromis ajustable entre qualité et temps de calcul.
- Démontrer que la combinaison du groupement non-local et d'une transformée 3D constitue un cadre particulièrement efficace pour la restauration d'images.

4 Méthodologie

4.1 1. Constitution des groupes (Grouping)

Pour chaque patch de référence, l'algorithme recherche dans une fenêtre locale les patches les plus similaires selon une distance ℓ_2 éventuellement stabilisée par un préfiltrage (p. 3–4). Les patches retenus sont empilés pour former un volume 3D au sein duquel les redondances seront exploitées.

4.2 2. Filtrage collaboratif dans le domaine transformé

Chaque groupe subit une transformée 3D, obtenue par l'application d'une transformée 2D sur chaque patch, suivie d'une transformée 1D le long de la pile. Le filtrage consiste en :

- un seuillage dur (étape 1),
- un filtrage de Wiener collaboratif (étape 2).

La transformée 3D permet d'exploiter à la fois la corrélation interne de chaque patch et la similarité entre patches.

4.3 3. Agrégation

Les patches estimés se chevauchent fortement. L'image finale est obtenue par une moyenne pondérée, où les poids dépendent de la variance résiduelle estimée (équations (10)–(12)). Cette étape contribue fortement à la stabilité de la méthode.

4.4 4. Approche en deux étapes

BM3D combine :

1. une première estimation basique obtenue par seuillage ;
2. une seconde estimation plus précise obtenue par un Wiener collaboratif prenant la première étape comme pilote.

4.5 5. Optimisations

Les auteurs détaillent plusieurs optimisations (Section IV) :

- limitation de la fenêtre de recherche ;
- transformées séparables (2D + 1D) pour réduire la complexité ;
- recherche prédictive des voisins ;
- deux profils : Normal et Fast .

5 Résultats principaux

- BM3D obtient les meilleurs PSNR sur tous les jeux de tests présentés (Table III).
- Préservation remarquable des textures répétitives, des motifs, des contours et des zones uniformes.
- Résultats visuellement très propres, avec peu d'artefacts, même en présence d'un bruit très élevé ($\sigma = 100$).
- L'extension couleur (C-BM3D) dépasse SA-DCT et ProbShrink sur plusieurs images de référence (Table V).

6 Forces

- Excellente exploitation de la redondance non-locale.
- Très bon compromis entre suppression du bruit et préservation des détails.
- Robustesse aux variations de contenu (textures, contours, surfaces lisses).
- Approche modulaire et adaptable.

7 Faiblesses / limites

- Le block-matching peut devenir moins fiable dans les régimes de bruit très fort, ce qui nécessite un préfiltrage.
- Le choix des paramètres est complexe et dépend du niveau de bruit.
- La méthode est optimisée pour le bruit gaussien ; d'autres modèles nécessitent des adaptations.

8 Pertinence pour le challenge Fuse My Cells

Le challenge Fuse My Cells vise à améliorer la résolution et la qualité d'images 3D dégradées, souvent très bruitées et présentant une forte variabilité spatiale. BM3D est particulièrement pertinent pour plusieurs raisons :

- il repose sur le **regroupement de régions similaires**, un principe directement relié à la fusion d'informations locales et au traitement de structures répétitives ;
- il démontre qu'un **filtrage collaboratif** appliqué à des volumes (ici 3D, mais extensible aux volumes biomédicaux) permet d'obtenir une représentation plus parcimonieuse et plus robuste ;
- l'étape de raffinement via un **Wiener guidé par une estimation pilote** constitue un schéma conceptuellement proche des approches modernes de reconstruction supervisée ;
- la méthode offre un cadre théorique utile pour comprendre les stratégies de restauration basées sur la **similarité inter-blocs** et la **sparsité**, deux notions centrales dans les approches d'amélioration de volumes multi-vues.

Ainsi, même si BM3D n'est pas directement applicable au problème du challenge, il apporte des concepts clés réutilisables dans la conception de pipelines de reconstruction ou de rééchantillonnage 3D.

9 Notions importantes

- Block-matching et similarité non-locale
- Transformée 3D (2D intra-patch + 1D inter-patch)
- Seuilage dur et filtrage de Wiener collaboratif
- Sparsité structurée
- Agrégation pondérée

10 Référence BibTeX

```
@article{Dabov2007BM3D,  
  title={Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering},  
  author={Dabov, K. and Foi, A. and Katkovnik, V. and Egiazarian, K.},  
  journal={IEEE Transactions on Image Processing},  
  volume={16},  
  number={8},  
  pages={2080--2095},  
  year={2007},
```

```
    publisher={IEEE}  
}
```