

Imagerie de Hadamard adaptée à des zones de formes libres

N. Ducros^{1,2}, J. E. Cohen¹, L. Mahieu-Williams¹

¹ CREATIS UMR 5220, U1294, F-69621, Lyon, France

² Institut Universitaire de France, France,

nicolas.ducros@creatis.insa-lyon.fr

Depuis les travaux de Duarte et al. [1], l'imagerie « single-pixel » est associée à la théorie du compressed sensing. Bien que plus ancien, le concept de spectroscopie de Hadamard [2] reste riche d'enseignements lorsqu'il s'agit d'analyser l'erreur quadratique moyenne (EQM) des images obtenues par imagerie single-pixel.

Après avoir décrit quelques mises en œuvre récentes de techniques d'imagerie hyperspectrale single-pixel, nous analyserons l'EQM de reconstruction associée aux matrices d'acquisition classiquement dérivées de matrices de Hadamard, sous l'hypothèse d'un bruit de Poisson-Gauss qui prévaut généralement en pratique. Constatant que la suppression de pixels du champ de vue a pour effet de réduire l'EQM de reconstruction, nous proposons un mode d'acquisition dit « libre » dans lequel seul un sous-ensemble des pixels est observé [3].

Grâce aux modulateurs spatiaux de lumière que l'on peut contrôler de façon informatique, la mise en œuvre d'un tel mode d'acquisition est particulièrement commode. Sur le plan conceptuel, l'imagerie libre peut être réalisée au moyen de matrices d'acquisition « masquées », dont certaines colonnes sont mises à zéro, ou au moyen de matrices dont les lignes s'appliquent directement au sous-ensemble de pixels appartenant à la zone libre. Cette dernière façon de procéder peut réduire davantage l'EQM de reconstruction par rapport à une matrice d'acquisition masquée.

Nous avons quantifié théoriquement l'EQM d'images libres et validé nos résultats à partir de simulations et d'acquisitions expérimentales. En présence de faibles flux lumineux pour lesquels notre approche est la plus pertinente, nous avons observé des gains significatifs, de l'ordre de 17 à 25 dB par rapport au balayage d'un point de mesure dans la zone libre, et de l'ordre de 6 à 7 dB pour une acquisition single-pixel complète (cf. Figure 1).

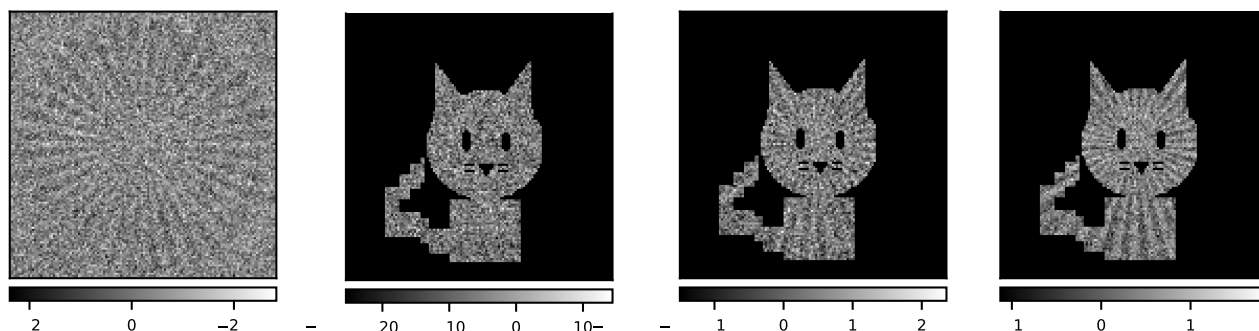


FIG. 1 : Reconstruction d'une même mire de résolution spatiale Siemens star, pour plusieurs matrices d'acquisition dans une région d'intérêt de forme libre (ici en forme de chat). **De gauche à droite** : acquisition de Hadamard complète, balayage ponctuel dans la zone libre, acquisition de Hadamard complète masquée, acquisition de Hadamard adaptée à la zone libre. La taille de l'image complète est de 128×128 . La région d'intérêt de forme libre compte 4 096 pixels. Le nombre de mesures est de 32 768 pour les acquisitions de Hadamard complète et masquée, de 4 096 pour le balayage, et de 8 192 pour la matrice Hadamard adaptée à la zone libre.

RÉFÉRENCES

- [1] M. Duarte, M. Davenport, D. Takhar, J. Laska, T. Sun, K. Kelly, and R. Baraniuk, "Single-Pixel Imaging via Compressive Sampling," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 25, pp. 83–91, Mar. 2008.
- [2] M. Harwit and N. J. A. Sloane, *Hadamard Transform Optics*. Academic Press, 1979.
- [3] N. Ducros, J. E. Cohen, and L. Mahieu-Williams, "Freeform Hadamard imaging : Back to the roots of computational optics." <https://hal.science/hal-05337760>, Oct. 2025.