



HAL
open science

APPLICATION DE LA SEPARATION AVEUGLE DE SOURCES POUR LA SUPPRESSION D'IMAGES JUMELLES EN HOLOGRAPHIE NUMERIQUE DANS L'AXE

Jamel Hattay, Denis Lebrun, Samir Belaïd

► **To cite this version:**

Jamel Hattay, Denis Lebrun, Samir Belaïd. APPLICATION DE LA SEPARATION AVEUGLE DE SOURCES POUR LA SUPPRESSION D'IMAGES JUMELLES EN HOLOGRAPHIE NUMERIQUE DANS L'AXE. 3ème rencontre francophone d'holographie numérique appliquée à la métrologie des fluides, Nov 2014, Ecully, France. hal-01100274

HAL Id: hal-01100274

<https://hal.science/hal-01100274>

Submitted on 6 Jan 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

APPLICATION DE LA SEPARATION AVEUGLE DE SOURCES POUR LA SUPPRESSION D'IMAGES JUMELLES EN HOLOGRAPHIE NUMERIQUE DANS L'AXE

Jamel Hattay
Laboratoire de recherche Systèmes de Communications Sys'Com
Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis ENIT BP 37, 1002 Tunis Le Belvédère, Tunisie
jamel.hattay@tunisiatelecom.tn

Denis Lebrun
UMR 6614 CORIA, Université de Rouen, 76801 Saint-Etienne du Rouvray, France
Denis.Lebrun@coria.fr

Samir Belaïd,
Faculté de sciences de Monastir
Avenue de l'environnement 5019 Monastir -Tunisie
samir.belaid@fsm.rnu.tn

MOTS CLES

Hologramme de Particules, Suppression Image jumelle, Transformée en ondelettes, Schéma de lifting en quinconce, séparation aveugle de sources, séparation géométrique DEDS.

RESUME

Nous proposons une méthode permettant la suppression d'images jumelles lors de la reconstruction des hologrammes numériques enregistrés dans la configuration in-line. Cette méthode est basée sur la séparation aveugle de mélanges convolutifs de sources. Le procédé est composé de deux étapes: un schéma de lifting en quinconce basé sur la transformée en ondelettes, dont le rôle est de permettre une décorrélation des images holographiques d'entrée, et un algorithme de déconvolution géométrique pour la tâche de séparation. Les résultats expérimentaux confirment l'efficacité de la séparation aveugle de sources pour l'élimination de l'image jumelle à partir d'hologrammes numériques de particules.

I. INTRODUCTION

La reconstruction numérique des hologrammes de Gabor souffre de la présence de l'image conjuguée superposée à celle en cours d'observation [1]. Le contraste des franges des images jumelles est d'autant plus prononcé lorsque les objets sont proches du capteur et peut poser un problème lors de la détection automatique du plan de mise au point des images holographiques. A cet égard, plusieurs travaux ont été développés pour l'élimination de cette image jumelle [2, 3,4, 5].

Dans cette communication, nous introduisons une nouvelle méthode pour la restitution des hologrammes basée sur la séparation aveugle de sources (SAS). Cette technique consiste à estimer un ensemble de signaux sources inconnus à partir d'un ensemble de signaux observés qui sont des mélanges à paramètres inconnus de ces signaux sources. La SAS a donné lieu à de nombreuses et fructueuses recherches au cours des dernières années telle que celle qui est

présentée dans la référence [6] utilisant l'aspect géométrique de séparation, combiné par une transformation d'ondelettes (noyau utilisé dans le cadre de cette communication).

Dans ce qui suit, nous présentons d'abord les équations de l'holographie sur lesquelles nous basons notre traitement. Puis nous décrivons l'aspect géométrique de la séparation aveugle de sources avec une représentation multi échelle des signaux par la transformée en ondelettes. La partie 4 donne les détails de l'algorithme proposé pour séparer les images conjuguées. La partie 5 est consacrée à la validation de la méthode sur des hologrammes simulés et expérimentaux.

II. HOLOGRAPHIE NUMERIQUE DANS L'AXE

Notons par $[1-T(x, y)]$ la distribution d'amplitude d'un objet illuminé par un faisceau lumineux monochromatique. On note z_e la distance de cet objet par rapport au détecteur.

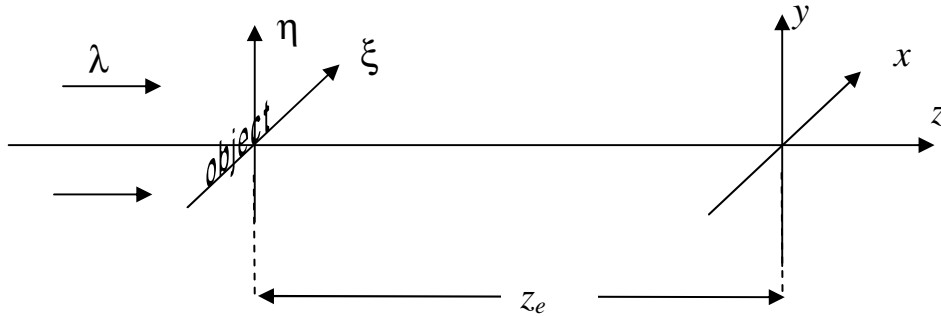


Figure 1 : Schéma d'enregistrement des hologrammes

L'amplitude complexe A_{z_e} au plan détecteur peut s'écrire par une opération de convolution [7] :

$$A_{z_e}(x, y) = [(1-T) ** h_{z_e}](x, y) \quad (1)$$

où

$$h_{z_e}(x, y) = \frac{1}{i\lambda z_e} \exp\left[i\frac{\pi}{\lambda z_e}(x^2 + y^2)\right] \quad (2)$$

Par la suite, l'intensité enregistrée par la caméra CCD est donnée par :

$$I_{z_e}(x, y) = 1 - [T ** (h_{z_e} + \bar{h}_{z_e})](x, y) \quad (3)$$

que l'on peut aussi écrire :

$$I_{z_e}(x, y) = 1 - T(x, y) ** \frac{2}{\lambda z_e} \sin\left[\frac{\pi(x^2 + y^2)}{\lambda z_e}\right] \quad (4)$$

Lors de la phase de reconstruction, l'amplitude complexe à une distance z_r de caméra est calculée aussi par une opération de convolution comme indique l'équation suivante :

$$R_{z_r}(x, y) = [I_{z_e} ** h_{z_r}](x, y) \quad (5)$$

En supposant que $z_e = z_r = z$, cette amplitude devient :

$$R_z(x, y) = 1 - T(x, y) - [T ** h_{2z}](x, y) \quad (6)$$

Dans le cas qui nous concerne, on peut réécrire aussi l'équation (6) comme un mélange convolutif:

$$R_z(x, y) = 1 - T^{**}[1 - h_{2z}](x, y), \quad (7)$$

L'idée consiste à utiliser la forme complexe de l'image restituée (parties réelle et imaginaire de $R_z(x, y)$) comme deux observations (ou mélanges convolutifs) pour séparer l'image réelle de l'objet $1 - T(x, y)$ de l'image conjuguée $[T^{**}h_{2z}](x, y)$.

III. LA SEPARATION AVEUGLE GEOMETRIQUE.

III.1 La séparation aveugle de sources (SAS)

La SAS consiste à estimer un jeu de P sources inconnues ($s_p(n)$, $p : 1, \dots, P$) à partir d'un jeu de Q observations ($x_q(n)$, $q : 1, \dots, Q$). Ces observations sont supposés le résultat des mélanges inconnus de ces P sources au travers d'un système X (figure 2). L'objectif à atteindre est de trouver le moyen d'annuler l'effet du système X , c'est-à-dire trouver un inverse X^{-1} afin de reconstituer les signaux sources.

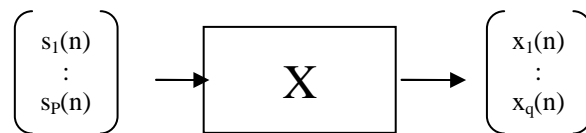


Figure 2: Modèle général de la séparation de sources

Dans la littérature, il existe plusieurs types de mélanges découpés en deux catégories : les mélanges linéaires et les mélanges convolutifs. Dans la première catégorie, les observations s'écrivent comme des combinaisons linéaires des sources. Par contre, dans la deuxième, les observations s'écrivent comme la somme de sources convoluées par un masque de convolution [8].

Dans cette communication, nous considérons que l'hologramme restitué est un mélange convolutif (équation (7)) formé par deux observations: la partie réelle ($x_1(n)$) et la partie imaginaire ($x_2(n)$) de $R_z(x, y)$. Comme énoncé plus haut, l'algorithme de séparation a pour but d'extraire $[1 - T(x, y)]$ à partir de ce mélange convolutif. Par la suite, nous présentons les deux étapes de notre méthode de séparation: la transformation de l'image d'entrée à l'aide de la deuxième génération de théorie d'ondelette puis l'algorithme géométrique de séparation.

III.2 Le schéma de lifting en quinconce

Un lifting en ondelettes est un schéma d'implantation d'une transformation en ondelettes un peu différent de celui plus habituel réalisé par les bancs de filtres. Le *lifting en ondelettes* est l'expression retenue pour désigner le procédé d'amélioration des propriétés des ondelettes par utilisation réciproque des bandes passe-bas et passe-haut. Contrairement à la transformation de Fourier, le schéma de lifting est moins complexe et il permet d'établir une relation entre la largeur de la fenêtre et la fréquence des oscillations: on effectue ainsi une homothétie de l'ondelette (translation et échelle), et non seulement de l'oscillation. Concrètement, Le schéma de lifting (LS) est une décomposition en ondelettes composée de trois étapes (voir figure 3). La procédure de division spatiale des échantillons en deux sous ensembles $s_j(2n+1)$ et $s_j(2n)$. Puis, l'étape de prédiction consiste à prédire les échantillons du $s_j(2n+1)$ à partir de $s_j(2n)$. Finalement, l'étape de mise à jour (Update) consiste à lisser les échantillons du $s_j(2n)$ à l'aide des coefficients d'erreur de prédiction.

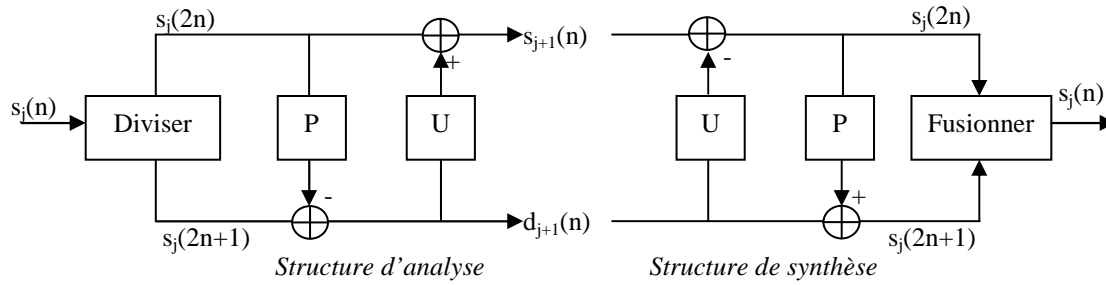


Figure 3: Structure de lifting unidimensionnel générique (U et P désignent Update et Prédiction).

Comme indique la figure 4, ce processus est répété successivement sur les coefficients à la sortie d'opération d'update afin de donner une analyse multirésolution d'images holographiques (observations) de départ.

III.3 L'aspect géométrique de séparation

En se basant sur le fait que les signaux observations forment les facettes d'un cône convexe, la tâche de séparation est réalisée par un algorithme efficace appelé DEDS (Dual Extreme Direction-based Separation) [10] qui procède par trois étapes principales. Etant donné que la matrice d'observations X définit le cône des données, la première étape consiste à calculer le dual de ce cône, noté X^* , à l'aide d'un algorithme standard de géométrie combinatoire [11].

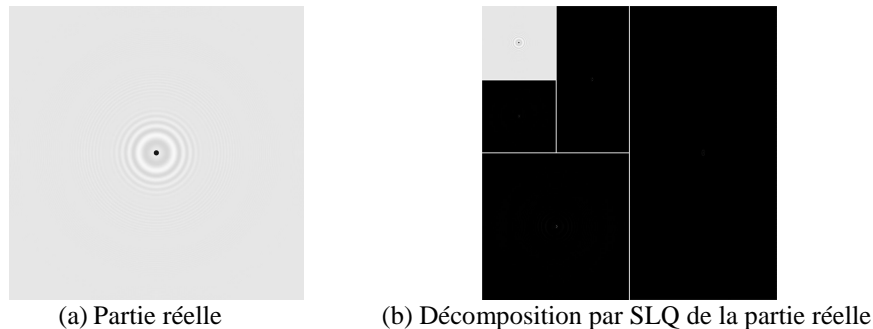


Figure 4 : Décomposition par SLQ d'hologramme d'entrée. On obtient une analyse multirésolution de l'hologramme

Le nombre de sources P à trouver est parmi l'ensemble des colonnes du produit matriciel $X^T X^*$. Puisque le nombre de colonnes de $X^T X^*$ est souvent plus grand que P , la deuxième étape consiste à sélectionner les P bonnes sources à l'aide d'un critère d'optimisation appelé l'estimation par la cohérence généralisée (GCE) [12]. Dans la dernière étape de l'algorithme DEDS, la sélection initiale est améliorée d'avantage par la substitution de certaines sources sélectionnées par d'autres afin d'optimiser cet estimateur GCE.

IV. ALGORITHME PROPOSE POUR LA SEPARATION DES IMAGES CONJUGUEES

On pourra se reporter à la référence [13] pour la description du processus de séparation des images holographiques. Comme l'illustre la Figure 5, le processus se compose de quatre étapes : la décomposition des images des parties réelle et imaginaire par le schéma de lifting en quinconce afin d'obtenir le nœud le plus parcimonieux.

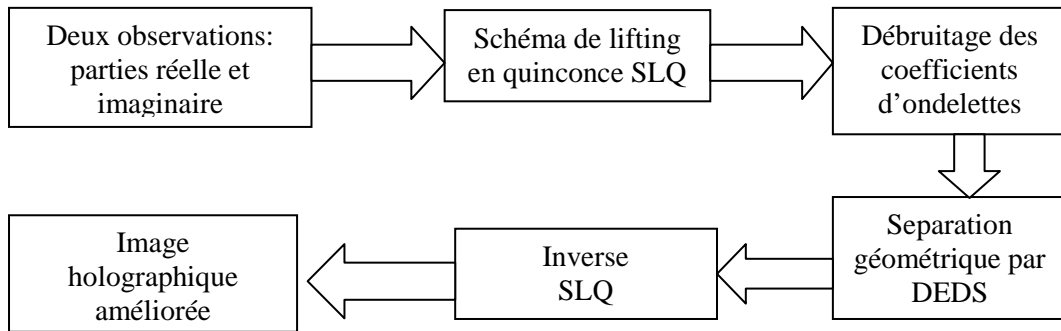


Figure 5 : Diagramme général des étapes de séparation aveugle de source pour la séparation des images holographiques

Ensuite, un algorithme de débruitage basé sur le principe de seuillage des coefficients d'ondelettes est appliqué sur l'image décomposée (réelle et imaginaire). Puis, l'étape de déconvolution est mise en œuvre par l'algorithme de séparation géométrique DEDS. C'est cette étape qui permet de séparer les images holographiques. Finalement, l'inverse de schéma de lifting en quinconce est appliqué à l'image holographique estimée par DEDS après l'élimination de l'image jumelle afin de revenir au domaine spatial.

V. SIMULATIONS ET RESULTATS EXPERIMENTAUX

La méthode de restitution a été appliquée à un hologramme numérique simulé avec les paramètres indiqués dans la Figure 6. Les parties réelles et imaginaires du champ restitué à partir de l'hologramme (présenté sur la figure 6c) sont présentées sur les figures 6a et 6b.

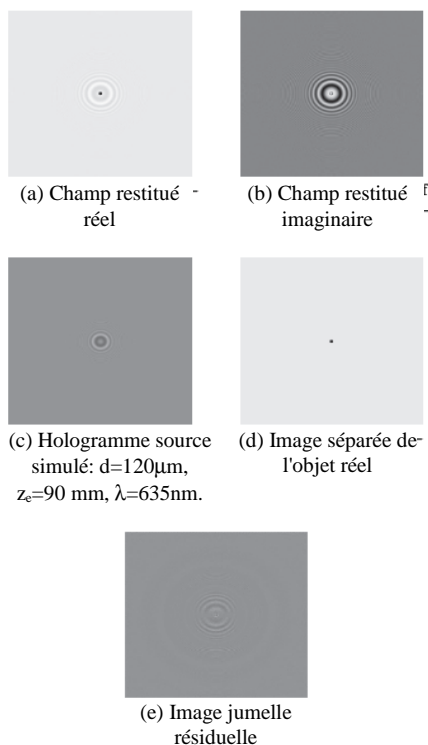


Figure 6 : Restitution d'un hologramme simulé

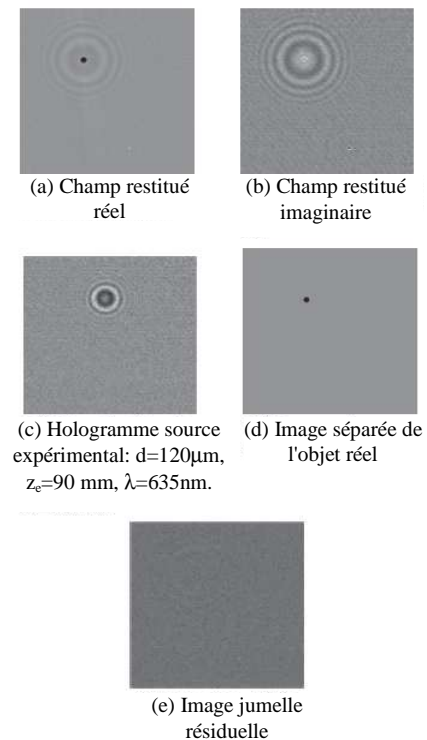


Figure 7 : Restitution d'un hologramme expérimental

On peut observer que l'image restituée (figure 6d) a pu être séparée des anneaux dus à l'image jumelle (image 6e).

La Figure 7d montre un exemple d'application de la méthode à un hologramme expérimental (bulle de cavitation dans un écoulement) [14]. Les valeurs des paramètres expérimentaux sont indiquées dans la Figure 7c.

Enfin, l'algorithme a été testé sur un hologramme expérimental avec deux particules afin de tester l'influence des interférences entre plusieurs particules sur la qualité de la séparation. D'après les résultats présentés dans la référence [13] notre algorithme élimine bien les images jumelles.

CONCLUSION

Nous avons proposé une nouvelle méthode pour la suppression de l'image jumelle dans la configuration holographique « in-line ». Cette méthode est basée sur l'approche de séparation aveugle de source (ici parties réelles et imaginaires des images holographiques) combinée avec la transformation d'ondelettes de deuxième génération. L'algorithme de déconvolution géométrique DEDS, a pu être appliqué aux hologrammes de particules en mettant en évidence une bonne qualité de séparation.

RÉFÉRENCES

- [1] Gabor, D.: A new microscopic principle. *Nature* 161, 777–778 (1948)
- [2] Onural, L.: Diffraction from a wavelet point of view. *Opt. Lett.* 18, 846–848 (1993)
- [3] Kreis, T.M.: *Handbook of Holographic Interferometry*. Wiley, Colorado (2005)
- [1] Coetmellec, S., Lebrun, D., Ozkul, C.: Characterization of diffraction patterns directly from in-line holograms with the fractional Fourier Transform. *App. Optics* 41, 312–319 (2002)
- [2] Leith, E., Upatnieks, J.: Wavefront reconstruction with continuous objects. *J. Opt. Soc. Am.* 53, 1377–1381 (1963)
- [3] Onural, L., Scott, P.: Digital decoding of in-line holograms. *Opt. Eng.* 26, 1124–1132 (1987)
- [4] Lатышевская, Т., Финк, Н.: Solution to the twin image problem in holography. *Phys. Rev. Lett.* 98, 23390 (2007)
- [5] Denis, L., Fournier, C., Fournel, T., Ducottet, C.: Twin-image noise reduction by phase retrieval in in-line digital holography. *Proc. SPIE* 5914, 59140J1 (2007)
- [6] Hattay, J., Belaid, S., Naanaa, W.: Geometric blind source separation using adaptive lifting scheme. In: 17th IEEE SPA conference SPA'2013 Spetember 2013 Poland
- [7] Onural, L.: Diffraction from a wavelet point of view. *Opt. Lett.* 18, 846–848 (1993)
- [8] Jamel Hattay, Samir Belaid and Wady Naanaa.: Multiresolution Convolutional Blind Source Separation Using Adaptive Lifting Scheme, 20th IEEE ICECS conference ICECS'2013 December 2013 UAE.
- [9] Hattay, J., Benazza-Benyahia, A., Pesquet, J.-C.: Adaptive lifting for multicomponent image coding through quadtree partitioning. In: *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, Signal Processing*, Philadelphia, USA (2005)
- [10] Naanaa, Wady, Nuzillard, Jean-Marc: A geometric approach to blind separation of nonnegative and dependent source signals. *Signal Process.* 92(11), 2775–2784 (2012)
- [11] Motzkin, T., Raiffa, H., Thompson, G., Thrall, R.J.: *The Double Description Method*. *Annals of Math Studies*, 8, pp. 51–73. Princeton University Press, Princeton (1953)
- [12] Cochran, D., Gish, H., Sinno, D.: A geometric approach to multiple channel signal detection. *IEEE Trans. on Signal Process.* 43(9), 2049–2057 (1995)
- [13] Jamel Hattay, Samir Belaid, Denis Lebrun and Wady Naanaa.: Digital in-line particle holography: twin-image suppression using sparse blind source separation. *Journal on Signal, Image and Video Processing* ISSN 1863-1703 Springer May 2014.
- [14] D. Lebrun, D. Allano, L. Méès, F. Walle, F. Corbin, R. Boucheron and D. Fréchet, "Size measurement of bubbles in a cavitation tunnel by digital in-line holography" *App. Optics*, Vol. 50 (34), H1-H9, (2011)