

Estimation à la volée du vignettage par ajustement local du gain

Lâmân Lelégard*

Manchun Lei

Bruno Vallet

Mathieu Brédif

Université Paris-EST / IGN / LaSTIG - MATIS

{prenom.nom}@ign.fr

1 Résumé

Les images acquises par tout système imageur présentent des distorsions radiométriques plus ou moins importantes se traduisant dans une grande majorité des cas par un assombrissement systématique en bord de champ, aussi appelé vignettage. Ce vignettage pose problème dès lors que l'on cherche à fusionner des images d'une même scène, que ce soit pour la texturation de modèles 3D, le rendu d'images panoramiques ou l'élaboration d'orthophotographies. Alors que ce vignettage est d'habitude estimé en laboratoire par une procédure de calibration radiométrique, on propose ici de l'estimer et de le corriger a posteriori, c'est à dire en utilisant uniquement des images acquises dans des conditions normales.

Mots Clef : *Vignettage, correction de champ plat, ajustement de fonction, radiométrie des images.*

1.1 Contexte

En photographie, le vignettage correspond à une réduction de la luminosité en bord d'image essentiellement liée aux caractères intrinsèques du capteur et de l'objectif [5] et décrit comme un facteur d'assombrissement radial dépendant des paramètres de la caméra (focale, capteur, ouverture). Il peut être estimé par méthode directe en photographiant un plan uniforme sous un éclairage homogène (champ plat) [1], [7], [9], [15]. Par contre, cette approche fait appel à un protocole spécifique nécessitant l'immobilisation en laboratoire de la caméra. Pourtant, d'autres approches permettent de s'affranchir d'une prise de vue dédiée en estimant le vignettage à partir d'images en chevauchement d'une scène statique arbitraire ([4], [5], [6], [7], [11]). Le caractère radial et relativement lisse du vignettage invite certains ([4], [5], [8]) à approcher ce dernier par un polynôme pair (souvent de degré 6) tandis que [11] développe une solution non paramétrique en estimant à la fois le vignettage, la courbe de réponse du capteur et les éventuels sauts d'illumination entre les images. Enfin, des travaux récents ([3], [16], [12]) estiment le vignettage à partir d'une seule image.

Nous disposons pour notre part d'image en recouvrement et cherchons à nous affranchir d'un modèle polynômial. On va pour cela s'inspirer de l'approche [11] en simplifiant grandement les hypothèses de départ : notre capteur suit une réponse linéaire et les images ne présentent pas de saut d'illumination. Cette dernière hypothèse vient du fait que :

- Les images sont acquises par le même dispositif de prise de vue dont les réglages sont fixés.
- La scène photographiée est lambertienne, statique et son éclairage ne change pas dans le temps.

Cela nous conduit à adopter une formulation mathématique un peu différente de celle développée dans l'article [11].

2 Estimation du vignettage

On définit une paire p comme les deux valeurs d'un même point vue dans deux images I et J et qu'on notera :

$$p = (I(k_p^I), J(k_p^J)) \quad (1)$$

où k_p^I désigne la position du point de la paire p dans l'image I .

On cherche la fonction correction de gain X de la même taille que les images produites par le dispositif considéré et qui vérifie pour chaque paire p l'égalité $X(k_p^I) \cdot I(k_p^I) = X(k_p^J) \cdot J(k_p^J)$ et revient à minimiser une énergie E_G de la forme :

$$E_G(X) = \sum_{p=1}^{N_p} (X(k_p^I) \cdot I(k_p^I) - X(k_p^J) \cdot J(k_p^J))^2 \quad (2)$$

En règle générale, on peut raisonnablement faire l'hypothèse qu'en l'absence d'appariement dense, la répartition des paires n'est pas suffisante pour permettre une résolution du problème, le nombre d'observations étant inférieur au nombre d'inconnues. Une condition de lissage suivant les lignes et les colonnes est donc introduite et justifiée par la nature non nulle, très continue et basse-fréquence du phénomène qu'on cherche à corriger. Cette condition peut être vue comme la minimisation de deux énergies E_x (suivant les colonnes) et E_y (suivant les lignes) de la forme :

$$E_x(X) = \sum_{k \in \text{pixels}}^{\text{sauf aux bords}} (X(k-H) - 2 \cdot X(k) + X(k+H))^2 + \sum_{k \in \text{pixels}}^{\text{aux bords}} (X(k \pm H) - X(k))^2 \quad (3)$$

$$E_y(X) = \sum_{k \in \text{pixels}}^{\text{sauf aux bords}} (X(k-1) - 2 \cdot X(k) + X(k+1))^2 + \sum_{k \in \text{pixels}}^{\text{aux bords}} (X(k \pm 1) - X(k))^2 \quad (4)$$

où k est la coordonnée du vecteur colonne X de taille $H \cdot W$ avec H et W respectivement hauteur et largeur des images considérées. Les conditions aux bords de (3) et (4) correspondent à une duplication des valeurs.

43 Au final, l'énergie à minimiser sera donc la suivante : $E(X) = E_G(X) + \mu \cdot (E_x(X) + E_y(X))$ (5)

44 Cette énergie peut aussi s'écrire sous forme matricielle : $E(X) = X^T C_G^T C_G X + \mu \cdot X^T (C_x^T C_x + C_y^T C_y) X$ (6)

45 où les matrices C_G , C_x et C_y sont respectivement construites à partir des relations (2), (3) et (4) et μ est un poids attribué
46 à la condition de lissage. En posant A comme étant la matrice colonne dont les blocs sont C_G , $\sqrt{\mu}C_x$ et $\sqrt{\mu}C_y$ la relation
47 (6) s'écrit plus simplement sous la forme $E(X) = X^T A^T A X$ notée (6') dont une solution est $X = 0$.

48 Afin d'éviter cette solution triviale, on impose une contrainte de non nullité sur X : $X^T X = 1$ (7)

49 La minimisation de AX avec A définie en (6') sous la contrainte (7) se fait en utilisant la méthode du multiplicateur de
50 Lagrange. Pour cela considérons la fonction L définie par : $L(X, \lambda) = X^T A^T A X + \lambda (X^T X - 1)$ (8)

51 Cette méthode [10] nous dit que si X_0 est la solution recherchée alors la différentielle de L suivant X et λ est nulle au
52 point (X_0, λ_0) . En l'appliquant à (8) on aboutit à des relations vérifiant : $A^T A X_i = \lambda_i X_i$ (9)

53 En appliquant (7) et (9) à la formulation énergétique (6') on en vient à la conclusion suivante : la minimisation de
54 l'énergie (5) sous la contrainte de non nullité (7) revient à minimiser $E(X_i) = \lambda_i$ c'est-à-dire, en considérant les
55 relations vérifiant (9), trouver le vecteur propre de $A^T A$ associé à sa valeur propre minimale.

56 3 Résultats et discussion

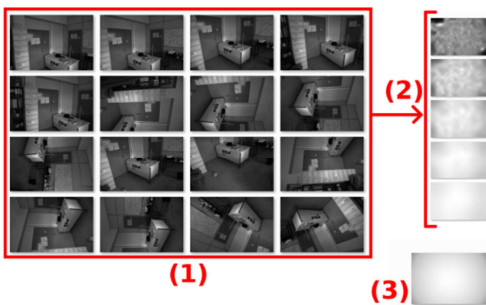
57 En premier lieu, un vignettage de référence est estimé en photographiant un champ plat (ce qui revient en pratique à
58 considérer la valeur moyenne de plusieurs images d'un verre uniformément dépoli). Afin de pouvoir comparer nos
59 résultats à cette référence, nous ne représenterons pas directement de la correction de gain X_0 calculée par notre
60 méthode mais son inverse normalisé. De plus, le vignettage étant relativement lisse, donc basse fréquence, il est
61 raisonnable de travailler sur des versions réduites des images et rendre ainsi le programme exécutable sur un ordinateur
62 de bureau. Enfin, la matrice $A^T A$ considérée ici présente une structure relativement creuse.

63 Le protocole expérimental est le suivant: 16 photos de la même scène – *Figure 1 (1)* – sont prises et appariées à l'aide
64 d'un descripteur SURF [2] retournant ainsi une liste de couples qui entrera dans la construction de la matrice C_G relative
65 à la formulation énergétique (2). L'influence du paramètre de lissage μ sur le résultat final est étudiée en calculant
66 différentes estimations de vignettage sont effectuées en faisant varier ce paramètre. La *Figure 1 (2)* illustre l'influence
67 de μ sur le résultat final qui reste néanmoins cohérent avec une atténuation radiale du gain telle qu'observée sur le
68 vignettage de référence présenté à la *Figure 1 (3)*. Les faibles valeurs de μ renvoient des résultats est non exploitables
69 dans le cadre d'une correction, alors que des valeurs de μ beaucoup plus élevées tendent à estimer une solution
70 parfaitement homogène correspondant à une absence de correction du vignettage.

71 Afin de déterminer le poids de lissage optimal, une approche de validation croisée est alors adoptée. L'estimation est
72 effectuée sur toutes les paires sauf une (choisie au hasard) qui est ensuite utilisée comme point de validation de cette
73 estimation en calculant la valeur absolue de la différence des valeurs de la paire corrigées du vignettage estimé sans
74 cette paire. Le score de validation est défini par la moyenne de ces différences pour un μ fixe.

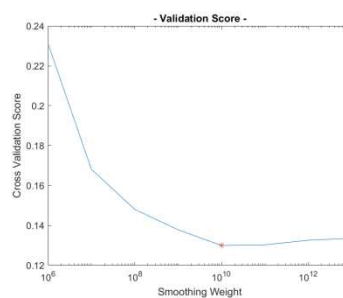
75 Le score de validation – *Figure 2* – tend à favoriser les solutions obtenues avec un poids de lissage élevé en privilégiant
76 les estimations obtenues avec un poids μ supérieur à 10^{10} alors que le vignettage de référence – *Figure 3* – présente une
77 corrélation maximale pour l'estimation avec μ compris entre 10^8 et 10^9 . Cette différence pourrait au premier abord être
78 interprétée comme un simple biais de notre score de validation, mais on pourrait aussi la considérer comme une limite
79 du protocole expérimental présenté dans ce travail : les solutions les plus corrélées avec le modèle de référence
80 présentent encore trop de rugosité dans leur partie centrale et sont susceptibles de renvoyer un score de validation moins
81 satisfaisant que les solutions plus lisses mais présentant l'inconvénient de moins bien corriger l'assombrissement en
82 bord de champ. Ce phénomène peut être lié en partie à la densité ainsi qu'à la répartition des paires considérées.

83

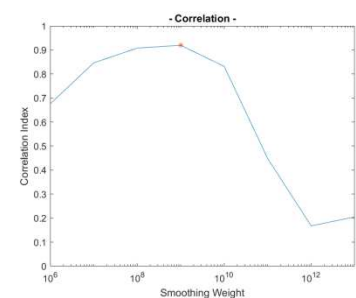


- Figure 1 -

- (1) Jeu d'images utilisé pour l'expérience
- (2) Résultats pour $\mu \in \{10^6, 10^7, 10^8, 10^9, 10^{10}\}$
- (3) Vignettage de référence (champ plat)



- Figure 2 -
Score de validation
en fonction du lissage μ .



- Figure 3 -
Corrélation des estimations avec
le vignettage de référence

84 4 Conclusion et perspectives

85 Les distorsions radiométriques induites par le vignettage demeurent un problème majeur dans certains problèmes de
86 fusion d'images. Ils sont généralement résolus par l'acquisition d'une image de champ plat nécessitant souvent la mise
87 en place d'un protocole spécifique (souvent en laboratoire). La méthode développée dans cet article fournit des résultats
88 directement exploitables, sans nécessiter d'étalonnage radiométrique préalable en laboratoire. Cette méthode présente
89 néanmoins un défaut en privilégiant les solutions les plus lisses.

90 Il serait alors intéressant de d'explorer deux pistes alternatives au protocole présenté ici : tel que redéfinir μ non plus
91 comme un scalaire (poids global) mais une matrice diagonale de poids estimée à partir de validations croisée sur des
92 régions de l'ensemble d'images (poids local) ou encore densifier les paires par corrélation dense [13] et, en introduisant
93 plus d'observations que d'inconnues, s'affranchir peut-être tout simplement d'une condition de lissage.

94 Bibliographie

- 95 [1] N. Asada, A. Amano, and M. Baba, "Photometric calibration of zoom lens systems", in: *Proceedings of the 13th*
96 *International Conference on Pattern Recognition*, Vienna, Austria, pp. 186-190, 1996.
- 97 [2] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool, L., "SURF: Speeded Up Robust Features", *Computer Vision and*
98 *Image Understanding*, Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, 2008.
- 99 [3] H. Cho, H. Lee, S. Lee, "Radial bright channel prior for single image vignetting correction", in: *European*
100 *Conference on Computer Vision*, Springer, pp. 189-202, 2014.
- 101 [4] C. Doutre, and P. Nasiopoulos, "Fast vignetting correction and color matching for panoramic image stitching", in:
102 *16th IEEE International Conference Image Processing (ICIP)*, Cairo, Egypt, pp. 709-712, 2009.
- 103 [5] D.B. Goldman, and J.-H. Chen, "Vignette and exposure calibration and compensation", in: *10th IEEE International*
104 *Conference Computer Vision (ICCV)*, Beijing, China, pp. 899-906, 2005.
- 105 [6] J. Jia, and C.-K. Tang, "Tensor voting for image correction by global and local intensity alignment". *IEEE*
106 *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 27, pp. 36-50, 2005.
- 107 [7] S.B. Kang, and R. Weiss, R., "Can we calibrate a camera using an image of a flat, textureless Lambertian surface?",
108 in: *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 640-653, 2000.
- 109 [8] S.J. Kim, and M. Pollefeys, "Robust Radiometric Calibration and Vignetting Correction", *IEEE Transactions on*
110 *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30, pp. 562-576, 2008.
- 111 [9] A. Kordecki, H. Palus, and A. Bal, "Practical vignetting correction method for digital camera with measurement of
112 surface luminance distribution", *Signal Image Video Process.*, 10, pp. 1417-1424, 2016.
- 113 [10] J.L. Lagrange, "*Mécanique Analytique – Première partie – Section IV : Manière plus simple et plus générale de*
114 *faire usage de la formule de l'équilibre donnée dans la section deuxième*", 1811.
- 115 [11] A. Litvinov, and Y.Y. Schechner, "Addressing radiometric nonidealities: a unified framework", in: *Computer Vision*
116 *and Pattern Recognition (CVPR 2005)*, San Diego, CA, USA, pp. 52-59, 2005.
- 117 [12] L. Lopez-Fuentes, G. Oliver, and S. Massanet, S., "Revisiting Image Vignetting Correction by Constrained
118 Minimization of Log-Intensity Entropy", in: *International Work-Conference on Artificial Neural Networks*,
119 Springer, pp. 450-463, 2015.
- 120 [13] M. Pierrot-Deseilligny, and N. Paparoditis, "A multiresolution and optimization-based image matching approach:
121 An application to surface reconstruction from SPOT5-HRS stereo-imagery", in *IAPRS vol XXXVI-1/W41 in ISPRS*
122 *Workshop on Topographic Mapping from Space (With Special Emphasis on Small Satellites)*, Ankara, Turkey, 2006.
- 123 [14] R.G. Willson, and S.A. Shafer, S.A., "What is the center of the image?", *Journal of the Optical Society of America*
124 A, vol. 11, pp. 2946-2955, 1994.
- 125 [15] W. Yu, Y. Chung, and J. Soh, "Vignetting distortion correction method for high quality digital imaging", in:
126 *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, IEEE, Cambridge, UK, pp. 666-
127 669, 2004.
- 128 [16] Y. Zheng, S. Lin, C. Kambhamettu, J. Yu, and S.B. Kang, S.B., "Single-image vignetting correction", *IEEE*
129 *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31, pp. 2243-2256, 2009.