

Méthode d'analyse/synthèse des ombres dans une séquence d'images naturelles

Jean-Marie PINEL

Henri NICOLAS

Carole LE BRIS

IRISA

Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France

{jpinel, hnicolas, clebris}@irisa.fr

Résumé

Cet article propose une méthode d'analyse et de synthèse des ombres dans des séquences d'images naturelles. Les ombres sont détectées dans un premier temps en utilisant plusieurs critères propres à leurs caractéristiques intrinsèques. Puis une modélisation des différences de luminance entre les zones ombragées et les zones éclairées est effectuée pour suivre temporellement les ombres à l'intérieur d'une zone réduite grâce à une estimation de la position de la source de lumière. Enfin cette modélisation est utilisée afin de créer artificiellement des ombres à des objets vidéos 2D insérés dans la scène. La méthode a été testée et validée sur des séquences réelles et synthétiques.

Mots Clef

Ombres, éclairement, objet vidéo

1 Introduction

Les conditions d'éclairage d'une image naturelle dépendent de la position et de l'intensité des sources de lumière, ainsi que de la structure géométrique de la scène qui est susceptible de générer des effets d'ombrage. L'analyse de la position et de l'évolution temporelle des ombres peut alors fournir des informations sur les sources de lumière - telles que leurs positions ou leurs intensités - ou sur la structure 3D de la scène. Cela est par exemple le cas dans les applications d'analyse d'images aériennes pour, par exemple, détecter les objets tels que les maisons ou les immeubles générant des ombres [1], et en estimer la hauteur [2][3]. Dans le cadre des applications de post-production vidéo dans lesquelles on souhaite modifier le contenu basé objet d'une scène (par ajout, modification ou suppression d'objets), il est nécessaire non seulement d'être capable de segmenter les ombres existantes créées par les objets que l'on souhaite déplacer ou supprimer, mais également de créer artificiellement des ombres cohérentes avec la nouvelle position des objets manipulés. La détection et la segmentation des ombres est un problème difficile, notamment dans le cadre des algorithmes automatiques de segmentation en région

basés sur des critères de mouvement. Il est en effet difficile de distinguer un objet en mouvement de son ombre [4], dans la mesure où une ombre en mouvement est souvent considérée par les critères de segmentation spatio-temporels comme faisant partie de l'objet. La méthode de détection et de synthèse des ombres proposée ici se base sur l'estimation de la position de la source de lumière, supposée unique et ponctuelle, et sur l'analyse de l'intensité des variations d'illumination générées par un phénomène d'ombrage. Les objets considérés de la séquence sont supposés avoir été préalablement segmentés et la surface de projection des ombres de la scène est supposée plane et lambertienne. La caméra sera supposée fixe uniquement pour une simplification des calculs.

2 Détection des ombres

Le problème de la détection des ombres est souvent abordé en combinant plusieurs caractéristiques des ombres tels qu'une luminance faible, des contours lissés ou l'absence de modifications texturales des surfaces sur lesquelles l'ombre est projetée [4][5]. La méthode proposée ici s'appuie sur, d'une part, l'estimation de la position de la projection dans le plan image de la source de lumière, et, d'autre part, sur la modélisation des différences de luminance entre un point éclairé de la scène et ce même point ombragé à un autre instant.

2.1 Modélisation des différences de luminance

En supposant que la source est éloignée de la scène et en utilisant un modèle d'illumination de Lambert, le rapport des luminances entre un point éclairé de la scène et ce même point ombragé à un autre instant peut être considéré comme constant [4].

La luminance $L(x,y)$ au point (x,y) de l'image peut alors s'écrire:

$$L(x,y) = E(x,y) \rho(x,y),$$

en notant $\rho(x,y)$ la réflectance et $E(x,y)$ l'irradiance

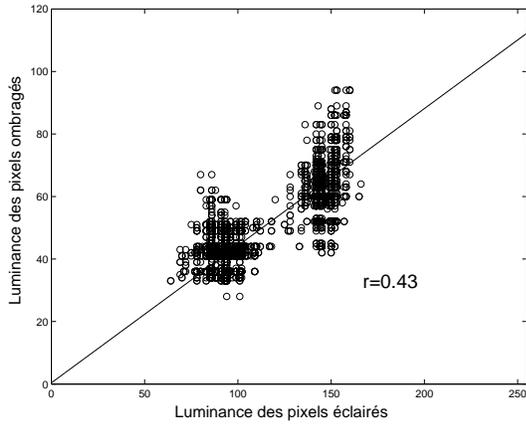


FIG. 1 – Estimation de r grâce aux points de I_{ref} et I_{init} . On distingue deux amas de points issus d'une ombre se projetant sur deux surfaces uniformes.

de la surface:

$$E(x,y) = \begin{cases} k_a + k_s \cos(\vec{N}(x,y), \vec{S}) & \text{si illuminé} \\ k_a & \text{si ombragé.} \end{cases}$$

k_a et k_s représentent les intensités de la lumière ambiante et de la source de lumière, \vec{S} et $\vec{N}(x,y)$ sont la direction de la source et la normale à la surface.

Le rapport des luminances R_t entre un point ombragé dans l'image I_t et un point illuminé dans I_{ref} est alors calculé en tenant compte du fait que leur réflectance est identique ($\rho_{I_t}(x,y) = \rho_{I_{ref}}(x,y)$):

$$R_t = \frac{L_{I_t}(x,y)}{L_{I_{ref}}(x,y)} = \frac{k_a}{k_a + k_s \cos(\vec{N}(x,y), \vec{S})}.$$

En utilisant les hypothèses du fond plan et de la source éloignée, $\vec{N}(x,y)$ and \vec{S} sont en théorie constants, donc l'équation peut finalement se réécrire:

$$R_t = r = cte \quad \forall t.$$

La loi d'assombrissement s'écrit alors:

$$I_{ombragé}(p) = r \cdot I_{illuminé}(p) \quad \forall p \in [0,255],$$

où r est le facteur d'ombrage. La détermination de r nécessite l'obtention d'une région dont on dispose de deux vues, l'une illuminée et l'autre ombragée dans la séquence originale. Pour obtenir cela, il est possible d'utiliser une image du fond de la scène ne contenant ni objets en mouvement ni zones ombragées (du moins dans les zones dans lesquelles on souhaite modifier le contenu objet de la scène). Cette image de référence I_{ref} peut dans certains cas être disponible dans la séquence d'images originale ou être construite comme une image mosaïque.

Le facteur r est alors déterminé en calculant l'image des rapports R_{init} telle que:

$$R_{init} = \frac{I_{init}}{I_{ref}},$$

où I_{init} représente l'image originale initiale.

Le facteur r est obtenu à l'aide des quatre étapes suivantes :

- Critère d'ombrage: par définition un point ombragé p signifie que $R_{init}(p) < 1$. Tous les points ne respectant pas cette contrainte sont alors supprimés.
- Élimination des petites régions par filtrage morphologique (érosion) et des zones correspondant aux segmentations des objets fournies.
- Critère d'homogénéité des ombres: l'écart type de R_{init} est calculé dans chacune des régions obtenues après les deux premières étapes. L'érosion effectuée à l'étape précédente permet aussi de supprimer les bords des zones restantes, donc l'éventuelle pénombre présente près des contours des ombres. En théorie l'écart type devrait être nul, mais en pratique des légères variations d'ombrage existent, surtout pour les ombres de grande taille. Les aires des régions considérées sont alors utilisées pour pallier à ces variations. Le critère noté C_H s'écrit alors pour une région A dans l'image:

$$C_H(A) = \frac{\sigma^2(A)}{\text{aire}(A)}.$$

En pratique seules les régions ayant un critère C_H inférieur à un seuil prédéfini sont conservées. Expérimentalement, ce seuil est fixé à 0,05. Un cas pathologique demeure: les objets uniformes sombres sur un fond uniforme vérifient les critères précédents et seront assimilés à des ombres. Un dernier paramètre, la distance entre la zone candidate et l'objet considéré pourra alors être introduite.

- Détermination du facteur r par une méthode de moindres carrés appliquée sur les régions sélectionnées. La figure 1 montre la droite obtenue à partir des points d'une ombre se projetant sur deux surfaces uniformes.

Des mires ont été utilisées et confirment expérimentalement la validité de ces lois (voir figure 2). Les valeurs prises par r au cours des différentes séquences testées oscillent entre 0,4 et 0,65.

2.2 Suivi temporel des ombres

Les ombres aux instants suivants sont déterminées en utilisant d'une part la position estimée de la lumière et d'autre part la modélisation des variations d'illumination dans la scène décrite par le facteur d'ombrage r , de la manière suivante :

- La méthode d'estimation de la projection de la position de la source de lumière (supposée unique et fixe) proposé dans [6] est utilisée. Cette méthode

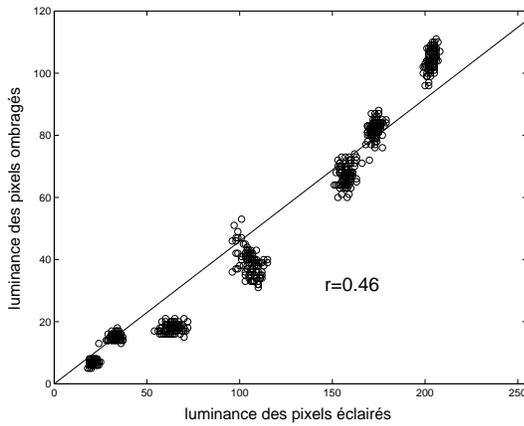


FIG. 2 – Vérification expérimentale de la validité de la modélisation linéaire effectuée avec une mire. La distance moyenne de chacun des 700 points par rapport à la droite est de 5,79.

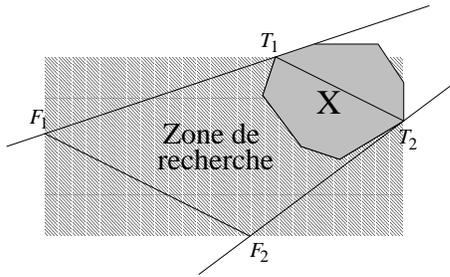


FIG. 3 – Suivi temporel de l'ombre : zone de recherche initiale. T_1 et T_2 sont les points de la droite issue de la source de lumière estimée tangents à l'objet. La droite (F_1F_2) est parallèle à la droite (T_1T_2) et la distance entre T_1 et F_1 est obtenue grâce à la mesure à l'instant précédent de la distance entre ces 2 points.

n'impose aucune contrainte sur les propriétés photométriques et sur la structure 3D des objets considérés. Elle se base sur des propriétés géométriques liant la source, l'objet et son ombre. En pratique, l'amplitude du mouvement des objets dans la scène et le nombre de couples objet-ombre considéré influe directement sur la précision de l'estimation de la position de la source de lumière. Un lancer de rayon de la source de lumière vers l'objet permet de sélectionner une zone de l'image dans laquelle doit se situer l'ombre correspondante, ce qui permet de réduire la zone de recherche illustrée par la figure 3. L'utilisation de cette zone procure un gain évident en rapidité mais permet aussi d'éliminer directement tous les candidats potentiels non valides qui pourraient malgré tout dans certains cas pathologiques se substituer à la véritable ombre.

- Dans la zone de recherche obtenue, un critère de détection des zones d'ombre est rajouté aux deux précédents critères utilisés pour la première image, le critère d'ombrage et le critère d'homogénéité.

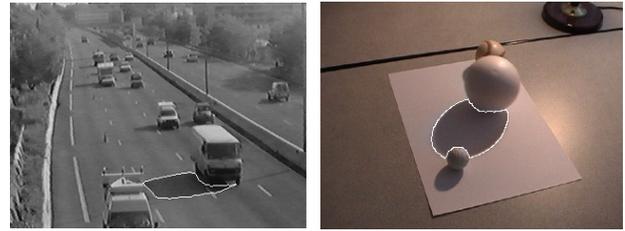


FIG. 4 – Exemples de segmentation des ombres après 8 images dans chaque séquence.

Ce critère, appelé critère de loi, mesure l'adéquation entre l'éclairage d'une zone et le modèle de variation d'éclairage obtenu. Il permet ainsi de distinguer les ombres des objets sombres uniformes en déplacement sur un fond uniforme. Ce critère est global car la loi d'ombre mesurée n'est pas toujours rigoureusement localement respectée. Ce critère noté C_L s'écrit alors pour une zone A de l'image I_t :

$$C_L(A) = \frac{\sum_{p \in A} (I_t(p) - r \cdot I_{ref}(p))^2}{card(A)}$$

Les zones candidates seront alors celles de la zone de recherche respectant localement le critère d'ombrage et telles que C_H soit inférieur à un seuil prédéfini déterminé expérimentalement. Finalement l'ombre recherchée sera la zone de plus faible critère C_L parmi les zones candidates. Aucun seuil n'est affecté à ce critère, car si expérimentalement dans la grande majorité des cas une ombre vérifie $C_L < 300$ (soit un écart moyen par pixel de 17 avec la loi linéaire estimée) dans certains cas des valeurs plus importantes peuvent être prises.

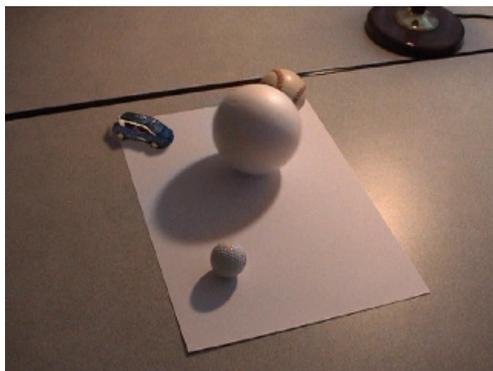
Les résultats de segmentation obtenus avec cette méthode sont meilleurs que ceux obtenus dans [7] où un suivi temporel des contours basé sur une analyse texturale locale est utilisé. Ces résultats étaient en effet assez instables après plusieurs images de la séquence, sensibles aux perturbations causées par les mouvements des différents objets et comportaient plusieurs paramètres importants à régler expérimentalement. La figure 4 donne un exemple de suivi temporel des ombres dans deux séquence d'images naturelles. Le résultat est insensible à la proximité d'un autre objet (a), ainsi qu'au recouvrement de l'ombre (b).

3 Application à la création d'ombres

La création artificielle d'une ombre suppose que l'on soit capable, d'une part, de déterminer la forme de cette ombre, et, d'autre part, de modifier artificiellement l'illumination de la région sur laquelle elle se projette.



(a)



(b)

FIG. 5 – Ombres artificielles rajoutées à la boule (a) et à la voiture miniature (b). L'objet de référence considéré est le camion (a) et la grosse boule (b) avec des facteurs respectifs $F_p = 0,5$ et $F_p = 0,25$.

La forme de l'ombre est obtenue en deux phases :

- Lancer de rayon depuis la position estimée de la source de lumière vers l'objet inséré dans la scène qui permet de déterminer une zone potentielle dans laquelle se trouve l'ombre.
- Projection de l'ombre obtenue à l'instant t vers l'instant $t+1$ en tenant compte des modifications de la structure 2D de l'objet, en particulier ses dimensions.

Pour l'instant initial, aucun suivi temporel n'est possible et il est possible de déterminer arbitrairement la forme de l'ombre en se basant sur les différences géométriques des formes respectives d'un autre objet et de son ombre. Lorsque la structure 3D de l'objet inséré est comparable à celui de l'objet considéré dans l'image, une forme initiale de l'ombre satisfaisante est obtenue. Dans le cas contraire, plusieurs paramètres permettent de modifier l'ombre initiale ainsi obtenue. Un facteur de profondeur, noté F_p , permet par exemple de notifier manuellement la profondeur de l'ombre insérée par rapport à celle de l'objet considéré. Enfin si cette méthode automatique s'avère être insuffisante, une détermination purement manuelle de l'ombre initiale pourra aussi être effectuée.

L'illumination est modifiée en utilisant la loi linéaire d'assombrissement et le facteur r précédemment déterminé. Un flou gaussien d'une taille dépendant des ombres existantes dans la séquence est aussi appliqué sur les bords de l'ombre.

La figure 5 illustre deux exemples de création d'une ombre artificielle. Bien que les objets considérés et ceux insérés aient une forme 3D complètement différente, les résultats sont cohérents en utilisant uniquement le facteur de profondeur F_p . C'est aussi du au fait que nous n'avons intuitivement que peu d'*a priori* sur des ombres dans une scène. La cohérence des ombres entre elles et par rapport aux objets est fondamentale, mais l'oeil ne pourra détecter facilement des erreurs par rapport à une position théorique exacte de l'ombre.

4 Conclusion et perspectives

La méthode proposée permet d'une part de détecter et de suivre les ombres dans des séquences d'images naturelles et d'autre part de créer des ombres artificielles à des objets 2D insérés dans la scène. Pour cela une modélisation linéaire du phénomène d'assombrissement est étudiée et une position 2D de la source de lumière est estimée. Les hypothèses sont limitées à une segmentation des objets considérés et un fond plan et lambertien. Les résultats obtenus sur plusieurs séquences d'images naturelles sont tout à fait satisfaisant et le prolongement de ces travaux veillera à évaluer l'impact des interventions humaines requises sur la qualité des résultats.

Références

- [1] Makoto Nagao, Takashi Matsuyama, and Yoshio Ikeda, "Region extraction and shape analysis in aerial photographs," *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 10, no. 3, pp. 195–223, July 1979, NAGAO79a.
- [2] R. B. Irvin and D. M. McKeown, "Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 19, no. 6, pp. 1564–1575, Nov.-Dec. 1989.
- [3] A. Huertas and R. Nevatia, "Detecting buildings in aerial images," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 41, pp. 131–152, 1988.
- [4] Jurgen Stauder Roland Mech and Jorn Ostermann, "Detection of moving cast shadows for object segmentation," *IEEE Trans. on multimedia*, vol. 1, no. 1, pp. 65–77, Mar. 1999.
- [5] C. Jiang and M. O. Ward, "Shadow segmentation and classification in a constrained environment," *CVGIP: Image Understanding*, vol. 59, no. 2, pp. 213–225, 1994.
- [6] J.M. Pinel et H. Nicolas, "Estimation de la direction d'illumination dans une séquence d'images," in *Actes du colloque Coresa*, Poitiers, Oct. 2000, pp. 115–122.
- [7] J.M. Pinel H. Nicolas and C. Le Bris, "Estimation of 2d illuminant direction and shadow segmentation in natural video sequences," in *VLBV 2001*, Athenes, Oct. 2001.