TP6 - Estimation de mouvement par flot optique

Vincent Barra - Christophe Tilmant

2012-2013

1 Introduction

Le mouvement, dans une séquence d'images bidimensionnelles (2D), est perceptible grâce aux changements de la distribution spatiale des intensités lumineuses . Le mouvement ainsi perçu est appelé "apparent", car il ne correspond pas nécessairement à la projection, dans le plan de l'image, du mouvement ayant lieu dans l'espace tridimensionnel (3D) . Ainsi, par exemple, les vitesses apparentes des points situés sur une sphère uniforme en rotation sont nulles, donc différentes des projections des vraies vitesses de ces points. Le champ des vitesses apparentes porte le nom de **flot optique** [1] . Nous utiliserons indifféremment les termes flot optique et champ de vitesses pour désigner le champ des vitesses apparentes.

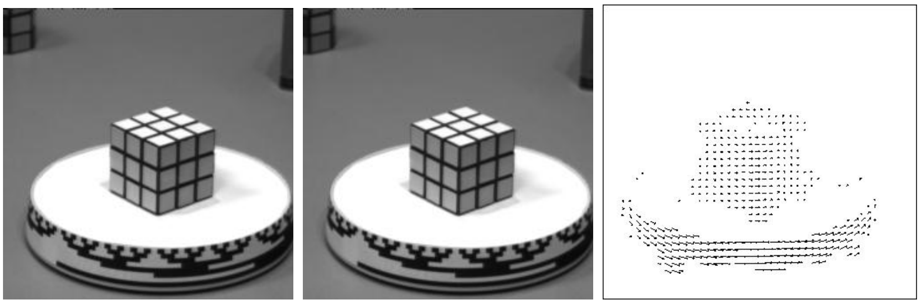

FIGURE 1 – Exemple d'un calcul de flot optique

2 Méthode du flot optique

L'estimation du mouvement apparent dans une séquence d'images s'appuie nécessairement sur une hypothèse de conservation de certaines propriétés photométriques des objets filmés . Les seules propriétés que l'on peut attribuer à un point dans l'image sont l'intensité lumineuse et, éventuellement, la couleur. De nombreux auteurs ont démontré que l'estimation du mouvement utilisant pour seule contrainte la conservation de l'intensité est un problème sous-déterminé :

$$I(\mathbf{m}, t) = I(\mathbf{m} - \mathbf{v}t, 0)$$

, où $I(\mathbf{m}, t)$ est le niveau de gris de l'image au point $\mathbf{m} = (x, y)^T$ à l'instant t, et $\mathbf{v} = (u, v)^T$ est le vecteur vitesse. Sous les hypothèses de petits déplacements et de différentiabilité spatio-temporelle de l'intensité lumineuse, la contrainte de conservation de l'intensité est généralement exprimée par l'équation de contrainte de mouvement au premier ordre [1] :

$$I_x \cdot u + I_y \cdot v + I_t = \nabla I \cdot \mathbf{v} + I_t = 0$$

où I_x, I_y, I_t représentent respectivement : les composantes horizontale et verticale du gradient spatial de l'intensité I, le gradient temporel de l'intensité. Cette équation seule permet de déterminer uniquement la projection du vecteur vitesse dans la direction du gradient spatial de l'intensité. Cette projection étant localement perpendiculaire aux frontières photométriques, on l'appelle composante normale du vecteur vitesse. Pour trouver la deuxième composante, tangentielle, il est nécessaire de régulariser l'estimation, c'est-à-dire réduire l'espace des solutions par l'introduction d'une contrainte supplémentaire.

3 Méthode différentielle de Horn et Schunck

Horn et Schunck combinent l'équation de la conservation de la luminance avec une régularisation globale afin d'estimer le champ de vitesses $\mathbf{v}(\mathbf{m}, t) = (u(\mathbf{m}, t), v(\mathbf{m}, t))$, en minimisant l'équation suivante :

$$\int_D (\nabla I \cdot \mathbf{v} + I_t)^2 + \lambda^2(\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2) d\mathbf{m}$$

, défini sur le domaine D, où le scalaire λ permet de régler l'influence du terme de régularisation. Les équations itératives permettant de minimiser cette expression sont les suivantes :

$$\begin{aligned} u^{k+1} &= \bar{u}^k - \frac{I_x\left[I_x\bar{u}^k + I_y\bar{v}^k + I_t\right]}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \\ v^{k+1} &= \bar{v}^k - \frac{I_y\left[I_x\bar{u}^k + I_y\bar{v}^k + I_t\right]}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \end{aligned}$$

, où k représente l'indice de l'échantillonnage temporel. A l'initialisation le champ de vitesses ($\mathbf{v^0} = (u^0, v^0)$) est nul. De plus, $\bar{u}^k$ et $\bar{v}^k$ représentent des versions moyennées (filtre moyenneur) de u^k et v^k.

4 Méthode différentielle de Lucas et Kanade

Par la suite Lucas et Kanade [2] ont proposé une méthode basée sur une régularisation locale du champ de vitesses, en minimisant la quantité suivante :

$$\sum_{\mathbf{m}\in\Omega} W^2(\mathbf{m}) \left[\nabla I(\mathbf{m}, t) \cdot \mathbf{v} + I_t(\mathbf{m}, t)\right]^2$$

où, Ω est un voisinage spatial de l'image, $W(\mathbf{m})$ représente une fonction de fenêtrage permettant de donner plus d'influence au centre du voisinage plutôt qu'à sa périphérie. La solution de cette équation est donnée par :

$$\mathbf{A^T} W^2 \mathbf{A v} = \mathbf{A^T} W^2 \mathbf{b} \tag{1}$$

où, pour les n points $\mathbf{m}_i \in \Omega$ à l'instant t :

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \left[\nabla I(\mathbf{m}_1), \ldots, \nabla I(\mathbf{m}_n)\right]^T \\ \mathbf{W} &= diag\left[W(\mathbf{m}_1), \ldots, W(\mathbf{m}_n)\right] \\ \mathbf{b} &= -\left(I_t(\mathbf{m}_1), \ldots, I_t(\mathbf{m}_n)\right)^T \end{aligned}$$

On pose :

$$\mathbf{B} = \mathbf{A^T} W^2 \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \sum W^2(\mathbf{m}) I_x^2(\mathbf{m}) & \sum W^2(\mathbf{m}) I_x(\mathbf{m}) I_y(\mathbf{m}) \\ \sum W^2(\mathbf{m}) I_y(\mathbf{m}) I_x(\mathbf{m}) & \sum W^2(\mathbf{m}) I_y^2(\mathbf{m}) \end{bmatrix}$$

Une analyse des valeurs propres permet d'autre part de caractériser un certain nombre de situations.

Pour avoir une solution de l'équation (**??**), la matrice $\mathbf{B}$ doit être de rang 2 "au sens fort", c'est-à-dire posséder 2 valeurs propres (λ_1,λ_2) grandes. Dans ce cas la solution de cette l'équation est :

$$\mathbf{v} = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{A^T} W^2 \mathbf{b}$$

Lorsque les deux valeurs propres sont proches de zéro aucun mouvement ne peut être estimé. Cela correspond aux zones de niveaux de gris uniformes.
Dans le cas où seule une valeur propre est significativement différente de zéro, les gradients de l'intensité lumineuse possèdent une direction spatiale privilégiée et seule la vitesse normale peut être estimée (problème de l'ouverture).

5 Partie pratique

5.1 Travail demandé

Vous trouverez sur http ://ent.univ-bpclermont.fr/ dans la rubrique "Ressources Pédagogiques" ce sujet, ainsi qu'un squelette du TP.

- Il est demandé de mettre en oeuvre le modéle de Horn et Schunck ainsi que de le tester sur les images fournies dans l'archive.
- Vous ferez de même avec la méthode de Lucas et Kanade.

5.2 Quelques fonctions utiles

Vous trouverez dans la référence de Cimg la description complète de la fonction suivante :

- draw_quiver : qui permet de tracer un champ de vitesses

```
CImg< T > & draw_quiver (const CImg< t1 > &flow, const t2 *const color,
                         const float opacity=1, const unsigned int sampling=25,
                         const float factor=-20, const bool arrows=true,
                         const unsigned int pattern=~0U)
Draw a vector field in the instance image, using a colormap.
```

6 Références

[1] Horn, B.K.P. and Schunck, B.G., "Determining optical flow." Artificial Intelligence, vol 17, pp 185-203, 1981.

[2] Lucas B.D. and Kanade T., "An iterative image registration technique with an application to stereo vision." Proceedings of Imaging understanding workshop, pp 121-130, 1981.

[3] Barron, J.L., Fleet, D.J., and Beauchemin, S., "Performance of optical flow techniques." International Journal of Computer Vision, vol 12(1), pp 43-77, 1994.

[4] Orkisz, M. and Clarysse, P., "Estimation du flot optique en présence de discontinuités : une revue." Traitement du Signal, vol 13(5), pp 489-513, 1996.