AIV2 – Flux optique

Pierre Tirilly

Master Informatique, parcours RVA – Université de Lille

1. Notions d'analyse vidéo

De l’image statique à la vidéo

Image numérique : Matrice de pixels

- 1 pixel = 1 valeur
- Valeurs dans un espace de couleurs donné (RGB, niveaux de gris. . .)
- Deux dimensions spatiales (hauteur, largeur)

Vidéo numérique : Séquence de matrices de pixels

- 1 pixel = 1 valeur dans un espace de couleurs
- Deux dimensions spatiales + une dimension temporelle

→ “Cube” vidéo

Trame (*frame*) : Une image (matrice) du cube vidéo

R

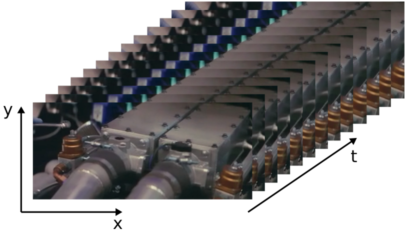
255	0	0	218	218	0	0	255
0	0	218	218	218	218	0	0
0	218	0	218	218	0	218	0
0	218	255	0	0	255	218	0
0	0	255	255	255	255	0	0
0	0	218	218	218	218	0	0
0	218	218	246	246	218	218	0
255	218	218	246	246	218	218	255

G

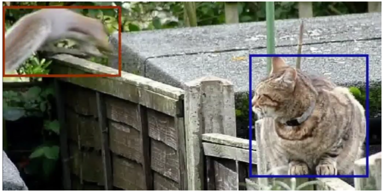
255	0	0	96	96	0	0	255
0	0	96	96	96	96	0	0
0	96	0	96	96	0	96	0
0	96	255	0	0	255	96	0
0	0	255	255	255	255	0	0
0	0	96	96	96	96	0	0
0	96	96	215	215	96	96	0
255	96	96	215	215	96	96	255

B

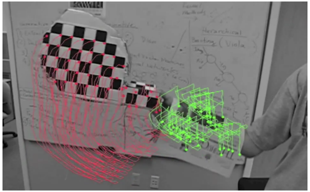
255	0	0	0	0	0	0	255
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	0	0	255	0	0
0	0	255	255	255	255	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	117	117	0	0	0
255	0	0	117	117	0	0	255



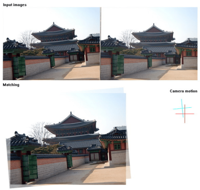
Tâches d'analyse vidéo



Suivi (*tracking*)



Segmentation de mouvement



[Vavilin et al.]
Compensation de mouvement

[Laptev et al.]
Reconnaissance / détection d'actions / activités

+ Toutes les tâches classiques de l'image statique (reconnaissance, indexation, segmentation. . .)

Information fondamentale en vidéo : le mouvement

Image statique : Information visuelle fondamentale

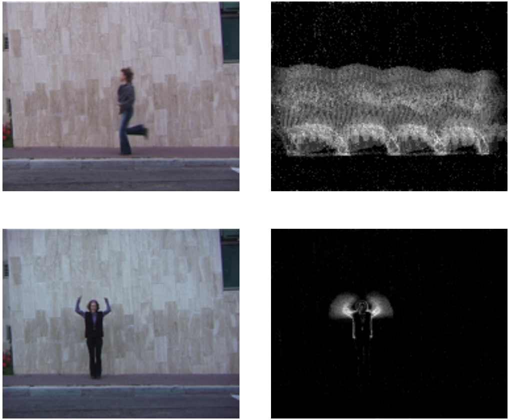
- Couleur
- Texture
- Forme

Vidéo : Une information additionnelle : *le mouvement*

- Mouvement : information de déplacement des pixels dans le temps

Questions :

1. Comment extraire l'information de mouvement ?
2. Comment décrire l'information de mouvement ?



2. Flux optique

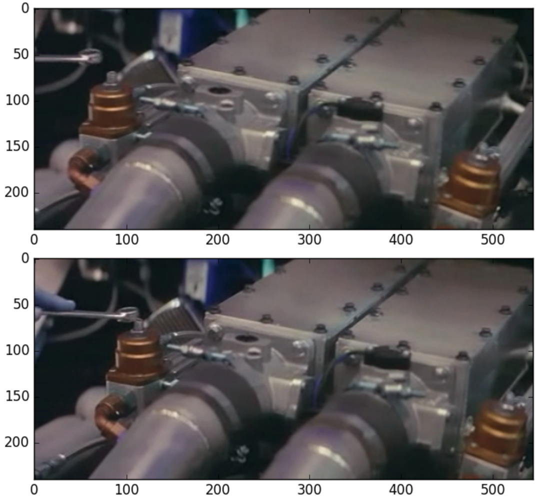
Motion field vs Optical flow

Champ de mouvement (motion field) : Déplacement *réel* des objets

Flux optique (optical flow) : Déplacement *perçu* des objets

Flux optique : objectif

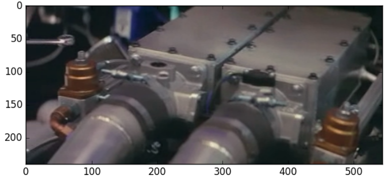
Objectif : Déterminer les vecteurs $d = (d_x, d_y)$ de mouvement des pixels d'une frame t à $(t + 1)$



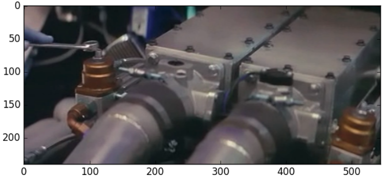
Flux optique : dense ou sparse

Flux optique dense : Déterminer d pour chaque pixel de la trame t

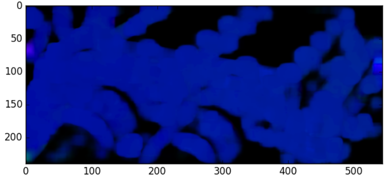
Flux optique épars (*sparse*) : Déterminer d pour un sous-ensemble de la trame t



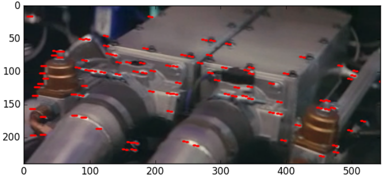
t



$t+1$



Flux dense

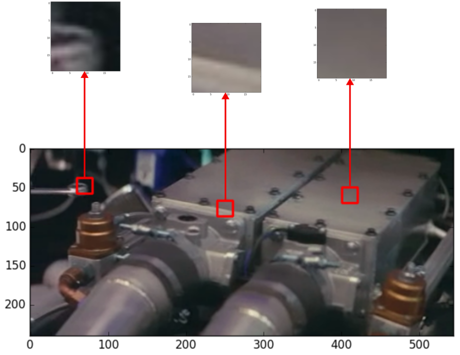


Flux épars

Problème de l'ouverture (*Aperture problem*)

Problème de l'ouverture : Impossibilité d'estimer le déplacement local de pixels pour certains motifs

- Région uniforme $\rightarrow$ Pas de mouvement perçu
- Arête $\rightarrow$ Mouvements non normaux à l'arête non perçus



Flux optique : Formalisation

Objectif : Trouver $d = (d_x, d_y)$ tel que :

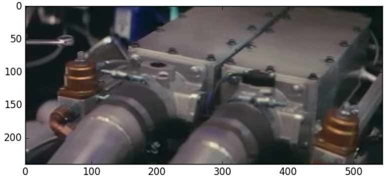
$$I(x, y, t) = I(x + d_x, y + d_y, t + 1)$$

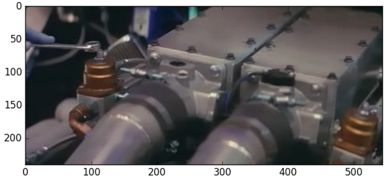
$$\Leftrightarrow \quad I(x + d_x, y + d_y, t + 1) - I(x, y, t) = 0$$

avec $I(x, y, t)$ la valeur du pixel en (x, y) dans la trame t

Hypothèses simplificatrices usuelles :

- Illumination constante (localement)
- Flux constant localement
- Mouvement d'amplitude limitée



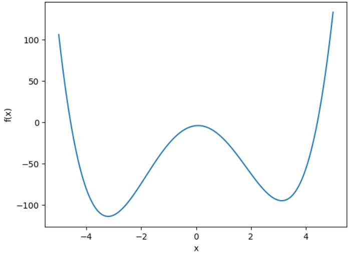


Flux optique : Problème

Problème : Comment résoudre l'équation du flux optique ?

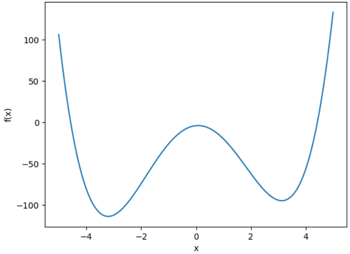
$$I(x + d_x, y + d_y, t + 1) - I(x, y, t) = 0$$

- Pas d'expression analytique pour $I(x, y, t)$
- Impossible d'estimer $I(x + d_x, y + d_y, t + 1)$ pour tous (d_x, d_y)



Solution : Approximation locale de $I(x + d_x, y + d_y, t + 1)$

- Approximation linéaire : Lucas-Kanade
- Approximation quadratique : Farneback



Flux optique : Méthode de Lucas & Kanade

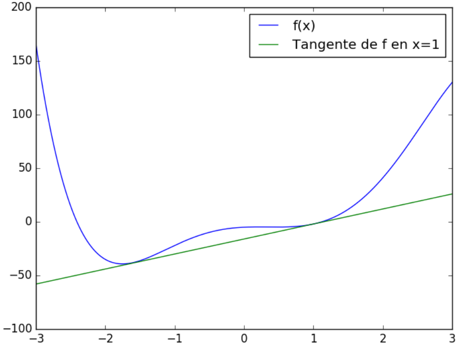
Idée : Utiliser une approximation linéaire de $I(x + d_x, y + d_y, t + 1) \rightarrow$ Développement de Taylor d'ordre 1

Développement de Taylor : Pour une fonction $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

$$f(x + d_x) = f(x) + \frac{d_x}{1!} \cdot \frac{df}{dx}(x) + \frac{d_x^2}{2!} \cdot \frac{d^2 f}{dx^2}(x) + \ldots + \frac{d_x^n}{n!} \cdot \frac{d^n f}{dx^n}(x) + r_n(d_x)$$

Ordre 1 : Approximation via la tangente

$$f(x + d_x) = f(x) + d_x \cdot \frac{df}{dx}(x) + r(d_x)$$



Flux optique : Méthode de Lucas & Kanade

Idée : Utiliser une approximation linéaire de $I(x + d_x, y + d_y, t + 1) \rightarrow$ Développement de Taylor d'ordre 1

Équation du flux optique : Développement de Taylor d'ordre 1, fonction de 3 variables x, y, t

$$I(x + d_x, y + d_y, t + 1) - I(x, y, t) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad I(x, y, t) + d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x, y, t) + d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial t}(x, y, t) + r(d_x, d_y) - I(x, y, t) = 0$$

$$\Leftrightarrow \quad d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x, y, t) + d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial t}(x, y, t) = 0$$

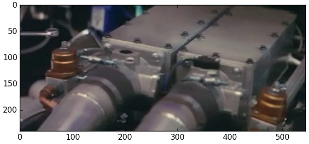
Hypothèse employée : Déplacement de faible amplitude

Interprétation de l'équation de flux optique : gradients

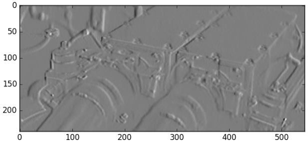
Équation de flux optique :

$$d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x, y, t) + d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial t}(x, y, t) = 0$$

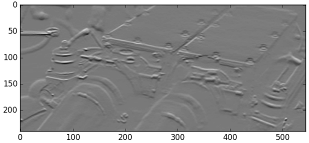
$\rightarrow$ Trouver (d_x, d_y) qui annule le gradient temporel



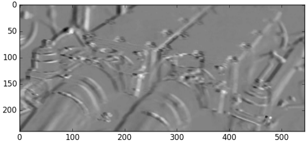
Trame



Gradient horizontal



Gradient vertical

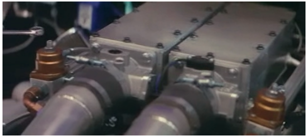


Gradient temporel

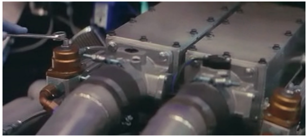
Estimation de (d_x, d_y)

Équation de flux optique :

$$d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x,y,t) + d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x,y,t) + \frac{\partial I}{\partial t}(x,y,t) = 0$$



Problème : Une équation, deux inconnues



Solution : Évaluer le flux optique sur une région de taille $w \times w$ autour de (x, y)

$$\sum_{p_i=(x_i,y_i)} d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_i,y_i,t) + d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_i,y_i,t) + \frac{\partial I}{\partial t}(x_i,y_i,t) = 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_1,y_1,t) \\ d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_2,y_2,t) \\ \cdots \\ d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_k,y_k,t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_1,y_1,t) \\ d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_2,y_2,t) \\ \cdots \\ d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_k,y_k,t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial t}(x_1,y_1,t) \\ \frac{\partial I}{\partial t}(x_2,y_2,t) \\ \cdots \\ \frac{\partial I}{\partial t}(x_k,y_k,t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Hypothèse employée : Cohérence locale du flux optique

Estimation de (d_x, d_y)

Équations de flux optique :

$$\begin{bmatrix} d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_1, y_1, t) \\ d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_2, y_2, t) \\ \cdots \\ d_x \cdot \frac{\partial I}{\partial x}(x_k, y_k, t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_1, y_1, t) \\ d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_2, y_2, t) \\ \cdots \\ d_y \cdot \frac{\partial I}{\partial y}(x_k, y_k, t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial t}(x_1, y_1, t) \\ \frac{\partial I}{\partial t}(x_2, y_2, t) \\ \cdots \\ \frac{\partial I}{\partial t}(x_k, y_k, t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow A.d + b = 0$$

$\rightarrow$ k équations, 2 inconnues

Résoudre : $d^* = \arg\min_d ||A.d + b||_2$

Solution par la méthode des moindres carrés :

$$d = -(A^T.A)^{-1}.A^T.b$$

Condition de validité

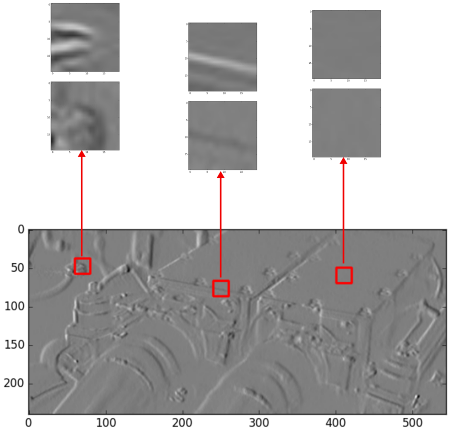
Condition de validité : $A^T.A$ doit être inversible

Signification de $A^T.A$: Tenseur de structure du gradient spatial

$$A^T.A = \begin{bmatrix} \sum \frac{\partial I}{\partial x}^2 & \sum \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \\ \sum \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} & \sum \frac{\partial I}{\partial y}^2 \end{bmatrix}$$

Cas possibles :

- Région uniforme : $\det(A^T.A) = 0$
- Arête : $\det(A^T.A) \approx 0$
- Contours complexes (coins, etc.) : $\det(A^T.A) \neq 0$



Good features to track

Calcul du flux optique : Uniquement sur les régions bien conditionnées (Shi & Tomasi)

$$\det(A^T.A) = \det\left(\begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}\right) \neq 0$$

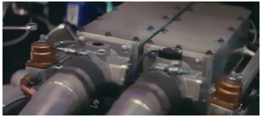
$$\Rightarrow \min(\lambda_1, \lambda_2) > \lambda$$

Flux optique épars : Kanade-Lucas-Tomasi (KLT)

1. Sélectionner les régions r_i bien conditionnées de la trame t
2. Calculer le flux optique $d_i = (d_{ix}, d_{iy})$ de chaque r_i entre t et $t+1$

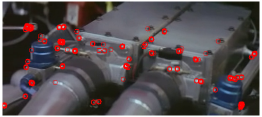
Paramètres majeurs :

- w : taille (en pixels) de la fenêtre autour des points à suivre
- λ : seuil d'acceptation des régions à considérer



$\lambda = 0.01$

$\lambda = 1.0$



$\lambda = 10.0$

Flux optique : conclusion

Flux optique : Vecteurs du mouvement perçu d'une trame à l'autre

- Différent du mouvement réel
- Dense (en tout point) ou épars (en certains points)

Équation du flux optique : $I(x + d_x, y + d_y, t + 1) - I(x, y, t) = 0$

- Hypothèse d'illumination constante

Problème de l'ouverture : Impossible d'estimer le flux optique dans certaines régions (uniformes, arêtes)

- Constaté dans la formulation mathématique du flux optique

Résolution de l'équation de flux :

- Approximations locales de la fonction I (linéaire : Lucas-Kanade, quadratique : Farneback)
- Apprentissage artificiel (apprentissage profond)
- Nécessite généralement des hypothèses additionnelles (cohérence locale du flux, amplitude limitée)

Conclusion

Vidéo numérique : Séquence de trames

$\rightarrow$ "Cube" vidéo

Tâches en vidéo :

- Suivi
- Classification / détection d'actions / activités
- Recalage
- Segmentation de mouvement
- ...

Traitement vidéo :

- Information fondamentale : mouvement
- Extension des méthodes 2D à la dimension temporelle

Flux optique :

- Vecteurs de mouvement de t à $(t+1)$
- Dense (ex : Farneback) ou épars (ex : Lucas-Kanade)
- Problème de l'ouverture

Description ?

- Quelques idées dans le TP...
- Et des choses plus avancées la semaine prochaine

TP

Classification de vidéos :

- Descripteurs d'apparence pour la vidéo
- Calcul et visualisation du flux optique
- Descripteurs globaux de mouvement