

MOUVEMENT ② Estimation

PLAN DU CHAPITRE

- Champ de vitesse apparent et applications
- Techniques par appariement
- Techniques différentielles 1 : Lucas et Kanade
- Techniques différentielles 2 : Horn et Schunck

Calcul du mouvement apparent

(1) Le calcul d'un mouvement apparent *global* (mise en correspondance) entre deux images correspond à l'estimation des paramètres d'une transformation affectant *tous* les points de l'image : translation, rotation, homothétie, affinité,...

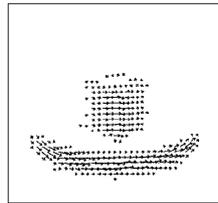
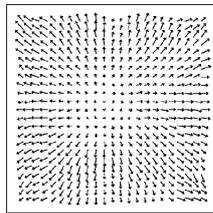
(2) Le calcul du mouvement apparent *local* consiste à associer à chaque pixel (x,y,t) de I un vecteur (v_x^t, v_y^t) représentant la *vitesse apparente* du pixel (x,y) à l'instant t .

—————→ Calcul du *flot optique* (= Champ de mouvement apparent)

Idéalement : le vecteur (v_x^t, v_y^t) représente la projection sur le plan image du vecteur vitesse (V_x^t, V_y^t, V_z^t) des objets de la scène par rapport au repère image (O,x,y,z) (grandeur objective).

On le calcule à partir des variations temporelles de la fonction $I(x,y,t)$.

Exemples de flot optique



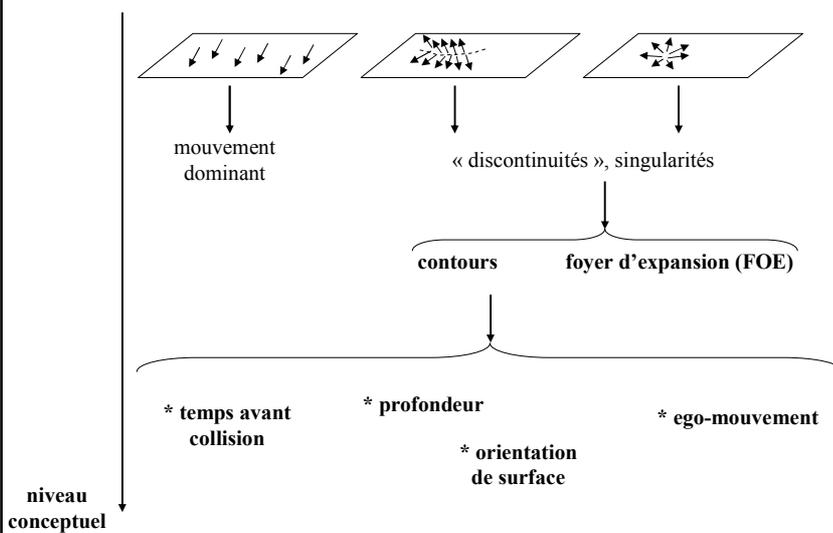
Source : Pierre Kornprobst - INRIA

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTA/EI

3

Quelles informations peut fournir le flot optique ?



Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTA/EI

4

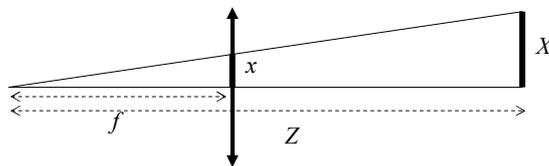
Distorsion perspective

On note (X,Y,Z) les coordonnées d'un point de la scène.

(x,y) les coordonnées du même point projeté dans l'image

f la distance focale de la caméra

**Distorsion perspective
(modèle sténopé) :**



$$x = f \frac{X}{Z}$$

$$y = f \frac{Y}{Z}$$

Mouvement projectif

Supposons que la caméra se déplace à la vitesse $(-X', -Y', -Z')$ par rapport à une scène statique (scène non déformable, pas d'objets mobiles), alors tous les points de la scène sont à la même vitesse (X', Y', Z') par rapport à la caméra (avec $X' = dX/dt$; $Y' = dY/dt$; $Z' = dZ/dt$). En dérivant par rapport au temps des équations de distorsion perspective :

$$\begin{cases} x' = f \left(\frac{X'}{Z} - \frac{XZ'}{Z^2} \right) \\ y' = f \left(\frac{Y'}{Z} - \frac{YZ'}{Z^2} \right) \end{cases} \quad \text{Soit : } \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \frac{1}{Z} \begin{pmatrix} -f & 0 & x \\ 0 & -f & y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -X' \\ -Y' \\ -Z' \end{pmatrix}$$

Un modèle plus réaliste...

En réalité, le centre optique (projection du diaphragme sur le plan image) n'est jamais au centre de l'image mais en un point (x_c, y_c) . De plus, la distortion perspective n'est jamais la même dans les deux directions, et la distance focale est remplacée par le couple (f_x, f_y) :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \frac{1}{Z} \begin{pmatrix} -f_x & 0 & (x - x_c) \\ 0 & -f_y & (y - y_c) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -X' \\ -Y' \\ -Z' \end{pmatrix}$$

Les paramètres $\{x_c, y_c, f_x, f_y\}$ dépendent du capteur et des paramètres de l'optique. Ils sont estimés dans une phase de *calibration* de la caméra.

D'autre part, si on prend en compte la composante de rotation $\Omega = (\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$ de la caméra par rapport à la scène :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \frac{1}{Z} \begin{pmatrix} -f_x & 0 \\ 0 & -f_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -X' \\ -Y' \\ -Z' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{(x-x_c)(y-y_c)}{f_y} & f_y + \frac{(y-y_c)^2}{f_y} & \frac{f_x}{f_y}(y-y_c) \\ f_y + \frac{(y-y_c)^2}{f_y} & -\frac{(x-x_c)(y-y_c)}{f_x} & -(x-x_c) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{pmatrix}$$

facteurs de perspective
coordonnées du centre optique
composante de translation
composante de rotation

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

7

Translation pure et profondeur

- Translation pure de la caméra selon l'axe de x , soit $T = (-X', 0, 0)$ et $\Omega = (0, 0, 0)$

$$\begin{cases} x' = f_x \frac{X'}{Z} \\ y' = 0 \end{cases} \quad \text{soit} \quad Z = f_x \frac{X'}{x'}$$

→ Vitesses apparentes horizontales, de modules inversement proportionnels à la profondeur.

- Translation pure de la caméra selon l'axe de z , soit $T = (0, 0, -Z')$ et $\Omega = (0, 0, 0)$

$$\begin{cases} x' = \frac{(x - x_c)Z'}{Z} \\ y' = \frac{(y - y_c)Z'}{Z} \end{cases} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} Z = \frac{(x - x_c)Z'}{x'} \\ Z = \frac{(y - y_c)Z'}{y'} \end{cases}$$

→ Zoom sur l'image avec un foyer d'expansion au niveau du centre optique.

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

8

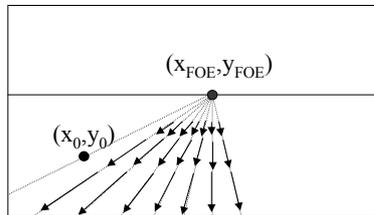
Le foyer d'expansion (FOE)

Lors d'une translation de la caméra dans une scène statique, les directions de vitesse des points projetés sur le plan image converge vers un point du plan projectif appelé FOE.

Dans la suite, on suppose que la caméra se déplace selon la translation $T = (-X', -Y', -Z')$. Pour simplifier les notations, on suppose de plus que $f_x = f_y = f$ et $(x_c, y_c) = (0, 0)$.

Soit (X_0, Y_0, Z_0) un point de la scène. Après un temps t , il est projeté sur l'image au point (x_t, y_t) , avec :

$$(x_t, y_t) = \left(f \frac{X_0 + tX'}{Z_0 + tZ'}, f \frac{Y_0 + tY'}{Z_0 + tZ'} \right)$$



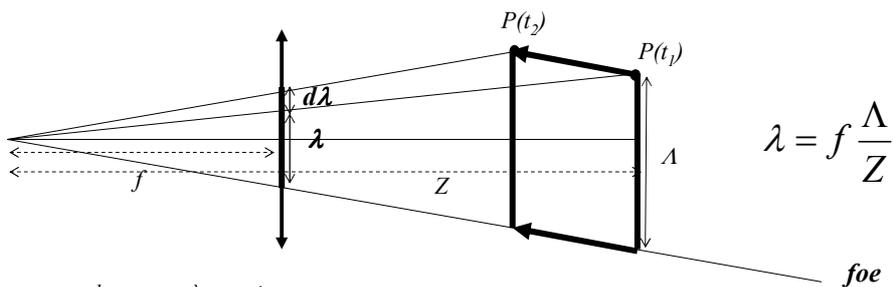
$$(x_{FOE}, y_{FOE}) = \lim_{t \rightarrow -\infty} (x_t, y_t) = \left(f \frac{X'}{Z'}, f \frac{Y'}{Z'} \right)$$

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

9

Temps avant collision



mouvement dans une scène statique :

$$\lambda' = -\frac{f\Lambda}{Z^2} Z'$$

et donc

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = -\frac{Z}{Z'}$$

temps avant collision

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

10

Calcul du flot optique : limites et contraintes

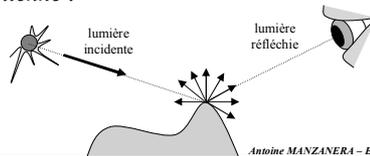


(1) On suppose :

MOUVEMENT \Leftrightarrow VARIATION D'INTENSITE

(\Leftarrow) On suppose que l'observation d'une variation d'intensité dans l'image traduit nécessairement l'existence d'un mouvement dans la scène. Cela correspond à une hypothèse d'*éclairage constant* sur la scène.

(\Rightarrow) C'est la variation de l'intensité dans l'image qui doit permettre de retrouver le mouvement apparent de l'objet dans la scène. On suppose donc que la lumière réfléchie par un point de la scène reste constante indépendamment du mouvement relatif scène / caméra. L'hypothèse sous-jacente est que les objets sont à surface *lambertienne* :



L'intensité de la lumière réfléchie est la même dans toutes les directions.

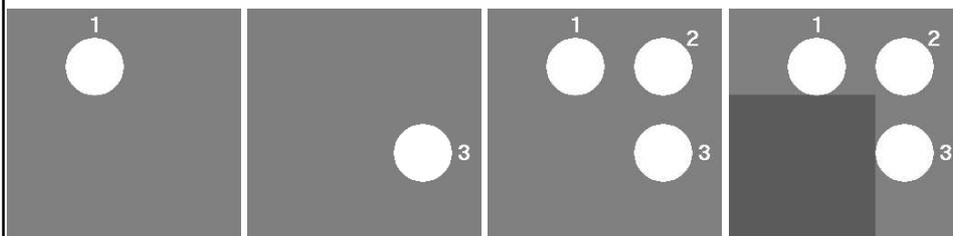
Calcul du flot optique : limites et contraintes



(2) **PROBLEME DE L'OUVERTURE**

On n' « accède » au mouvement apparent d'un point que grâce à un calcul effectué *dans un voisinage borné* de ce point.

➔ On ne peut calculer que la composante du mouvement *dans la direction du gradient* (i.e. *perpendiculaire au contour*).



Source : PROJET TELESUN <http://telesun.insa-lyon.fr>

Technique par appariement

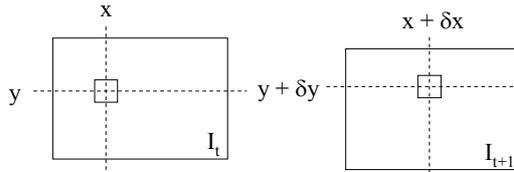
Mesure d'appariement :

On considère $B \subset \mathbb{Z}^2$ voisinage de l'origine :



$$A'_{(x,y)}(\delta x, \delta y) = \sum_{(b_1, b_2) \in B} (I(x + b_1, y + b_2, t) - I(x + \delta x + b_1, y + \delta y + b_2, t + 1))^2$$

C'est la somme des différences au carrée (SSD) de 2 blocs :



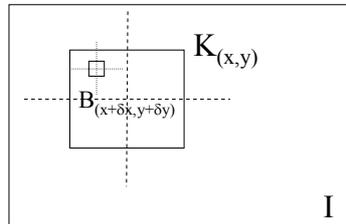
typiquement :
B de taille
9x9, 15x15...

Solution du flot optique :

$$(v_x^t, v_y^t) = \arg \min_{(\delta x, \delta y) \in K} A'_{(x,y)}(\delta x, \delta y)$$

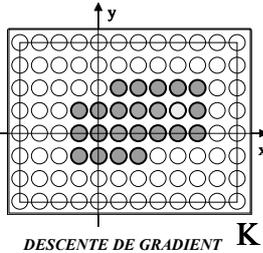
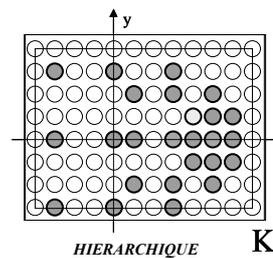
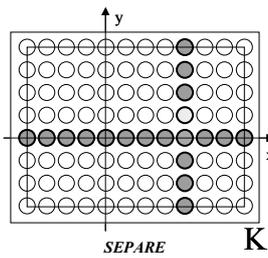
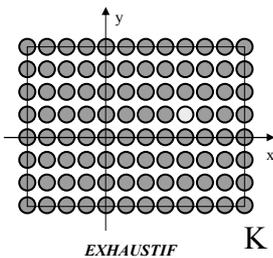
$$K \subseteq I$$

pour limiter le temps de calcul
+ stratégies d'optimisation...



Appariement : stratégies d'optimisation

Le principe des stratégies d'optimisation est de parcourir « intelligemment » l'espace de recherche K pour minimiser la complexité de calcul de l'optimum d'appariement :



Pour chaque point de K, on ne calcule la somme des différences que tant qu'on demeure inférieur à un seuil T. Le meilleur déplacement correspond à celui pour lequel le plus de points ont été examinés.

SEQUENTIEL

- Ces différentes techniques ne sont pas exclusives, et peuvent être combinées.

- En l'absence d'hypothèse sur la fonction d'appariement (séparabilité, convexité...) dans le domaine K, seul le parcours exhaustif garantit le calcul d'un optimum global sur K.

Exemple : normes mpeg de codage video



Flot optique sous-résolu

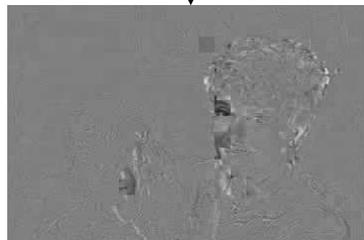
- Découpage en blocs 16×16 ou 32×32.
- Hypothèse de même déplacement pour tous les pixels du blocs.
- Codage : déplacements + erreurs comprimées.

↳ Compression statique *JPEG* :

- Transformée en cosinus discrète
- Quantification
- Codage entropique



Trame prédite



Erreurs de prédiction

Référence :
VcDemo
TU Delft

Techniques différentielles (1)

LUCAS & KANADE 1981

Le principe de la méthode de Lucas et Kanade est de calculer le minimum de la fonction d'appariement quadratique (SSD), en supposant que le déplacement recherché est petit, comme le point où les dérivées de la fonction d'appariement s'annulent, par rapport à δ_x et à δ_y .

$$\begin{aligned} (v_x^t, v_y^t) &= \arg \min_{(\delta_x, \delta_y) \in K} A(\delta_x, \delta_y) \\ &= \arg \min_{(\delta_x, \delta_y) \in K} \sum_{(x,y) \in B} (I(x, y, t) - I(x + \delta_x, y + \delta_y, t + 1))^2 \end{aligned}$$

Sous l'hypothèse que I est régulière et que le déplacement (δ_x, δ_y) est petit, on écrit le développement de Taylor à l'ordre 1 de I :

$$I(x + \delta_x, y + \delta_y, t + 1) \approx I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta_y + \frac{\partial I}{\partial t}$$

La fonction d'appariement A devient :

$$A(\delta_x, \delta_y) \approx \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \delta_x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta_y + \frac{\partial I}{\partial t} \right)^2$$

Techniques différentielles (1)

LUCAS & KANADE 1981

$$A(\delta x, \delta y) \approx \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \right)^2$$

Equations d'Euler-Lagrange de minimisation de A : Annulation des dérivées premières par rapport à δx et à δy :

$$2 \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \right) \frac{\partial I}{\partial x} = 0$$

Ce qui revient à la résolution du système linéaire :

$$2 \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \right) \frac{\partial I}{\partial y} = 0$$

$$\mathbf{H} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{b}$$

$$\text{avec } \mathbf{H} = \begin{pmatrix} \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 & \sum_{(x,y) \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \\ \sum_{(x,y) \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} & \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \end{pmatrix} \text{ et } \mathbf{b} = \begin{pmatrix} - \sum_{(x,y) \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial t} \\ - \sum_{(x,y) \in B} \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\partial I}{\partial t} \end{pmatrix}$$

et $\mathbf{v} = (v_x, v_y)$ le déplacement recherché.

La résolution du système (S) est finalement réalisée par une méthode itérative, type Gauss-Seidel :

$$\text{Initialisation : } v_x^{(0)} = 0, v_y^{(0)} = 0$$

$$\text{Pour } k > 0 : \begin{cases} v_x^{(k)} = \frac{1}{\mathbf{H}_1} (\mathbf{b} - \mathbf{H}_2 \cdot v_y^{(k-1)}) \\ v_y^{(k)} = \frac{1}{\mathbf{H}_2} (\mathbf{b} - \mathbf{H}_1 \cdot v_x^{(k)}) \end{cases}$$

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

17

Techniques différentielles (1)

LUCAS & KANADE 1981

L'existence et la stabilité d'une solution au système (S) dépend de la matrice \mathbf{H} :

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 & \sum_{(x,y) \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \\ \sum_{(x,y) \in B} \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} & \sum_{(x,y) \in B} \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \end{pmatrix}$$

NB : On retrouvera cette matrice au chapitre 3 pour le calcul des points d'intérêt...

La matrice \mathbf{H} doit être de rang 2 « au sens fort », c'est-à-dire posséder 2 valeurs propres (λ_1, λ_2) grandes. Les auteurs proposent d'utiliser $\lambda = \min(\lambda_1, \lambda_2)$ comme indicateur de confiance du déplacement calculé.

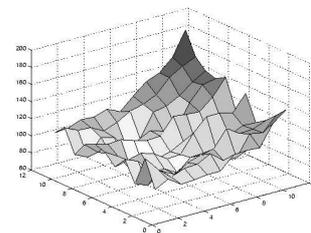
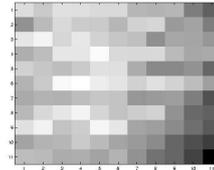
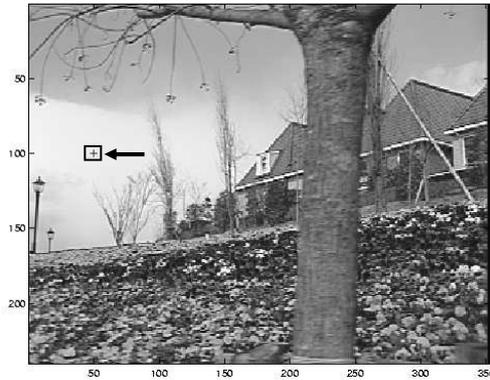
Cette propriété correspond à une interprétation algébrique du *problème de l'ouverture*...

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

18

Rang 0 : zone homogène



Zone faiblement texturée :
2 valeurs propres faibles

Sources : Steven Seitz UW-Seattle

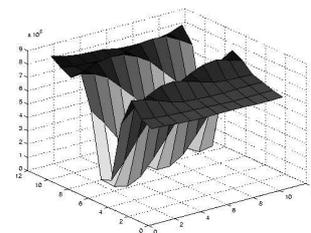
Fonction d'appariement A

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

19

Rang 1 : contour simple



Contour rectiligne : 1 seule
grande valeur propre

Sources : Steven Seitz UW-Seattle

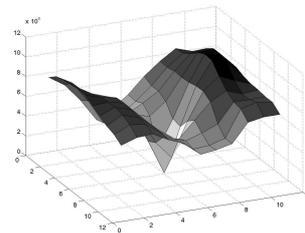
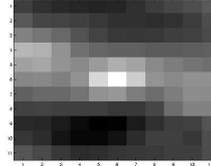
Fonction d'appariement A

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

20

Rang 2 : point anguleux



Point anguleux : 2 valeurs propres importantes

Sources : Steven Seitz UW-Seattle

Fonction d'appariement A

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

21

Techniques différentielles (2)

HORN & SCHUNCK 1981

Exploitation directe de la contrainte (1) :

$$I(x, y, t) = I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t)$$

Formule de Taylor

$$= I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \cdot \delta t + \dots$$

Termes d'ordres supérieures négligés

SOIT :

$$\nabla I \cdot \mathbf{v} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{ll} \nabla I = \left(\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y} \right) & \text{gradient spatial} \\ \mathbf{v} = (v'_x, v'_y) & \text{inconnues} \\ \frac{\partial I}{\partial t} & \text{gradient temporel} \end{array} \right.$$

Equation de contrainte du mouvement apparent (ECMA)

ou : équation du flot optique

Cours ETASM 2006

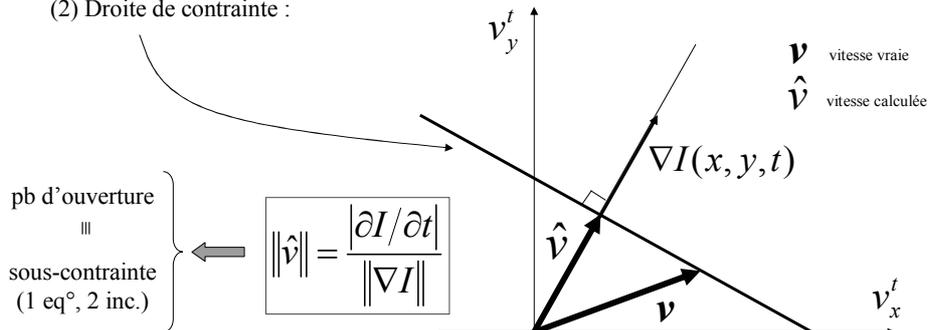
Antoine MANZANERA - ENSTALEI

22

Interprétation de l'ECMA

(1) En faisant l'hypothèse d'une certaine *régularité* du champ et de *petits déplacements*, les *changements temporels* dans l'image sont *équivalents* (au premier ordre) au produit scalaire des *changements spatiaux* et de la *vitesse apparente*.

(2) Droite de contrainte :



Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

23

Résolution de l'ECMA

HORN & SCHUNCK 1981

Résolution de l'ECMA par *ajout d'une contrainte de régularité*.

⇔ *Régularisation* du pb mal posé par hypothèse de champ *lisse* de déplacement.

➔ Minimisation d'une fonction de coût :

$$C_{(x,y)}^t(v_x^t, v_y^t) = \underbrace{\left(\nabla I \cdot v + \frac{\partial I}{\partial t} \right)^2}_{\text{ECMA}} + \lambda \underbrace{\left[\left(\frac{\partial v_x^t}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_x^t}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_y^t}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_y^t}{\partial y} \right)^2 \right]}_{\text{REGULARISATION}}$$

facteur de pondération

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

24

Résolution de l'ECMA

HORN & SCHUNCK 1981

1. Minimisation d'une fonctionnelle quadratique :

$$C_{(x,y)}(u, v) = (I_x u + I_y v + I_t)^2 + \lambda(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2)$$

$$\text{avec : } \begin{cases} \{u, v\} \text{ composantes du champ (inconnues) à calculer} \\ \{I_x, I_y, I_t\} \text{ dérivées partielles de l'image} \\ \{u_x, u_y, v_x, v_y\} \text{ dérivées partielles des composantes du champ} \end{cases}$$

→ Annulation des dérivées premières $\partial/\partial u(\dots) = 0$; $\partial/\partial v(\dots) = 0$

Equations d'Euler-Lagrange de minimisation de C :

$$\begin{cases} 2(I_x u + I_y v + I_t)I_x + 2\lambda \left[\left(\frac{\partial}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial x} \right) \frac{\partial u}{\partial x} + \left(\frac{\partial}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial u}{\partial y} \right] = 0 \\ 2(I_x u + I_y v + I_t)I_y + 2\lambda \left[\left(\frac{\partial}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{\partial v}{\partial x} + \left(\frac{\partial}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \frac{\partial v}{\partial y} \right] = 0 \end{cases}$$

$$\text{soit : } \begin{cases} (I_x u + I_y v + I_t)I_x + \lambda \Delta u = 0 \\ (I_x u + I_y v + I_t)I_y + \lambda \Delta v = 0 \end{cases} \quad \text{avec : } \begin{cases} \Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ \Delta v = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \end{cases} \quad \text{laplaciens de } u \text{ et } v$$

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

25

Résolution de l'ECMA

2. Approximation du Laplacien : $\nabla^2 f = f - \tilde{f}$ \tilde{f} = moyenne de f dans un certain voisinage

$$\text{soit : } \begin{cases} (v - \tilde{v})(I_x^2 + I_y^2 + \lambda) = -I_y(I_x \tilde{u} + I_y \tilde{v} + I_t) \\ (u - \tilde{u})(I_x^2 + I_y^2 + \lambda) = -I_x(I_x \tilde{u} + I_y \tilde{v} + I_t) \end{cases}$$

3. Schéma itératif de résolution :

$$\text{Méthode de Gauss-Seidel : } \begin{cases} u^k = \tilde{u}^{k-1} - I_x(I_x \tilde{u}^{k-1} + I_y \tilde{v}^{k-1} + I_t) \cdot (I_x^2 + I_y^2 + \lambda)^{-1} \\ v^k = \tilde{v}^{k-1} - I_y(I_x \tilde{u}^{k-1} + I_y \tilde{v}^{k-1} + I_t) \cdot (I_x^2 + I_y^2 + \lambda)^{-1} \end{cases}$$

Soit, en reprenant les notations originales :

ALGORITHME DE HORN & SCHUNCK

• Initialisation : $v_x^0 = 0$ $v_y^0 = 0$

avec :

$$\begin{cases} N = \frac{\partial I}{\partial x} \tilde{v}_x^{k-1} + \frac{\partial I}{\partial y} \tilde{v}_y^{k-1} + \frac{\partial I}{\partial t} \\ D = \lambda + \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \end{cases}$$

• Répéter jusqu'à convergence :

$$\begin{cases} v_x^k = \tilde{v}_x^{k-1} - \frac{\partial I}{\partial x} \frac{N}{D} \\ v_y^k = \tilde{v}_y^{k-1} - \frac{\partial I}{\partial y} \frac{N}{D} \end{cases}$$

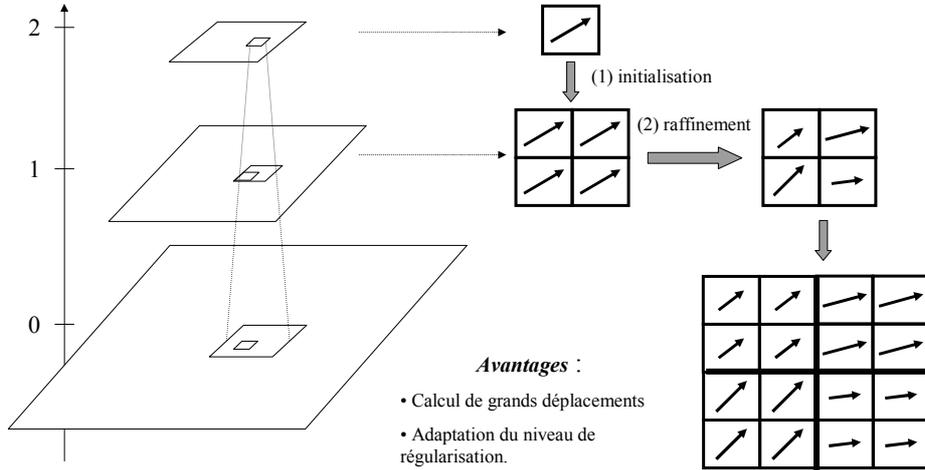
Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

26

Estimation multi-échelles

Niveau



Cours ETASM 2006

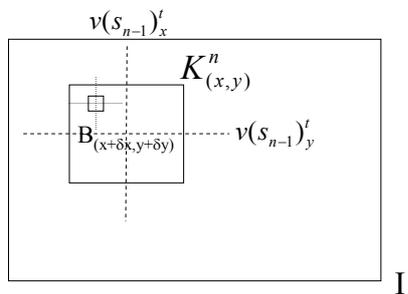
Antoine MANZANERA - ENSTALEI

27

Principe du calcul multi-échelles

ALGORITHME PAR CORRELATION

$$(v(s_n)_x, v(s_n)_y) = \arg \max_{(\delta x, \delta y) \in K^n} C^t_{(x,y)}(\delta x, \delta y)$$



avec : $K^n_{(x,y)} = [v(s_{n-1})_x \pm \Delta_1] \times [v(s_{n-1})_y \pm \Delta_2]$

ALGORITHME DIFFERENTIEL

• Initialisation : $v(s_0)_x = 0$ $v(s_0)_y = 0$

• Répéter jusqu'à convergence :

$$v(s_0)_x^k = \tilde{v}(s_0)_x^{k-1} - \frac{\partial I}{\partial x} \frac{N}{D}$$

$$v(s_0)_y^k = \tilde{v}(s_0)_y^{k-1} - \frac{\partial I}{\partial y} \frac{N}{D}$$

• Init. : $v(s_1)_x = v(s_0)_x$ $v(s_1)_y = v(s_0)_y$

• Répéter jusqu'à convergence :

$$v(s_1)_x^k = \tilde{v}(s_1)_x^{k-1} - \frac{\partial I}{\partial x} \frac{N}{D}$$

$$v(s_1)_y^k = \tilde{v}(s_1)_y^{k-1} - \frac{\partial I}{\partial y} \frac{N}{D}$$

.../...

Cours ETASM 2006

Antoine MANZANERA - ENSTALEI

28

Conclusion Chapitre 2

- EXPLOITATION DU FLOT OPTIQUE
 - Mouvement dominant
 - Profondeur
 - Temps avant collision
- METHODES PAR APPARIEMENT
- METHODES DIFFERENTIELLES
 - Lucas et Kanade
 - Horn et Schunck
- METHODES MULTI-EHELLES

Bibliographie Chapitre 2

- **B.D. Lucas & T. Kanade 1981** « *An iterative image registration technique with an application to stereo vision* » *International Journal of Computer Vision and Artificial Intelligence* 674-679
- **B.K.P Horn & B. Schunck 1981** « *Determining Optical Flow* » *Artificial Intelligence* 23 185-203
- **D.H. Ballard & C.M Brown 1982** « *Computer Vision* » Prentice Hall (Ch. 3, Ch. 7)
- **J.M. Jolion & A. Rosenfeld 1994** « *A pyramid framework for early vision* » Kluwer Academic Publishers Dordrecht, NL
- **R. Jain, R. Kasturi & B. Schunck 1995** « *Machine Vision* » McGraw-Hill Inc. (Ch.14)