

Estimation de mouvement de civelles par méthodes différentielles

Franck Luthon¹

franck.luthon@univ-pau.fr

Nawal Eldrogi²

nawaleldrogi@gmail.com

Benoît Larroque³

benoit.larroque@univ-pau.fr

^{1,3} IUT de Bayonne Pays Basque, Université de Pau et des Pays de l'Adour, E2S UPPA

^{1,2} Laboratoire Informatique LIUPPA, Anglet, EA 3000

³ Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur SIAME, Anglet, EA 4581

THÈMES – *Biologie - Informatique - Imagerie*

RÉSUMÉ – *En biologie, le suivi du déplacement d'animaux pose parfois des problèmes techniques liés aux caractéristiques des espèces et des stades de développement, ou au milieu de vie. Pour étudier la migration de civelles d'anguille, les biologistes reproduisent les inversions de courant de marées en laboratoire et font un marquage individuel à l'aide d'élastomère coloré. En travaillant manuellement sur des enregistrements vidéo, ils identifient chaque individu et s'intéressent à leur sens et vitesse de déplacement. Les techniques du traitement d'images et d'estimation de mouvement peuvent les aider dans cette tâche. Dans ce travail exploratoire, le mouvement des civelles est estimé par des méthodes différentielles de calcul du flux optique. L'algorithme de Lucas et Kanade permet de déterminer le sens et la vitesse de déplacement, tandis que celui de Horn et Schunck précise le mouvement ondulatoire des civelles. Ces informations pourraient aider les biologistes à estimer la dépense énergétique liée à la nage, l'objectif à terme étant d'automatiser les mesures.*

MOTS-CLÉS – *Estimation de vitesse, Suivi, Comportement de poisson, Flux optique.*

1 Introduction

L'anguille européenne présente un cycle de vie complexe, avec une reproduction en mer des Sargasses, une phase larvaire qui traverse l'océan atlantique et un stade juvénile, la civelle, qui remonte les estuaires pour effectuer sa croissance en rivière. Les civelles nagent en suivant les courants de marée montante, et s'enfoncent vers le substrat à marée descendante. Il a néanmoins été démontré que cette migration estuarienne est facultative, certains individus renonçant à rejoindre les rivières et restant en estuaire. Une meilleure compréhension du déterminisme de la migration estuarienne des civelles est d'un intérêt crucial pour cette espèce menacée. Pour l'étudier, on reproduit en laboratoire les courants de marée et on observe le comportement de nage des individus. Une difficulté concerne l'animal lui-même, qui est transparent et se déplace principalement de nuit. Pour suivre les civelles, on marque chaque individu avec un marquage élastomère coloré, implanté sous la peau et visible sous UV quelles que soient les conditions lumineuses [1]. Le suivi se fait sur enregistrements vidéo¹ mais c'est un travail fastidieux, actuellement non automatisé. Les paramètres qui intéressent les biologistes sont le sens de déplacement des civelles (avec ou contre le courant) et leur vitesse. Toute mesure permettant d'évaluer la dépense énergétique est également recherchée, car les civelles jeûnent durant la migration, et leur statut énergétique influe sur leur potentiel migratoire. Or, en vision par ordinateur, l'estimation de mouvement a de nombreuses applications : poursuite d'objets, vidéo-surveillance, robotique, analyse gestuelle, météorologie, imagerie médicale. Elle consiste à calculer le déplacement de chaque pixel d'une image ou région en mouvement pour obtenir des vecteurs représentant la vitesse. Le mouvement apparent obtenu à partir des changements de la distribution spatiale d'intensité est appelé flux optique, pour lequel il existe diverses méthodes d'estimation. L'objectif de ce travail exploratoire est d'appliquer les méthodes différentielles pour estimer le mouvement des civelles d'anguille : déterminer leur sens de nage, mesurer leur vitesse, caractériser leurs ondulations.

2 Contexte expérimental

On utilise un aquarium en forme d'anneau ovale, de longueur 150 cm et de largeur 50 cm, partagé en son milieu par une paroi verticale rigide. Deux pompes, situées aux 2 extrémités opposées de l'aquarium, permettent d'alterner les courants d'eau toutes les 6,2 heures, reproduisant le rythme des marées. La vitesse du courant d'eau est d'environ 11 cm/sec. La température de l'eau est maintenue constante à $11 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Une couche de gravier couvre le fond de l'aquarium. Un groupe d'une trentaine de civelles est marqué avec des combinaisons d'élastomères couleurs (rouge, orange, vert, bleu). La taille moyenne d'une civelle est de

7 cm. La zone filmée concerne toute la colonne d'eau, sur une largeur de 60 cm. Des enregistrements vidéo de 15 sec sont réalisés toutes les 40 min sur 8 jours. La cadence vidéo est de 15 images/s. La taille d'image est 1280×960 pixels.

3 Méthode d'estimation de mouvement

Les techniques d'estimation de mouvement consistent à mesurer le flux optique représentant les variations de la luminance entre 2 images successives. Le principe repose sur l'hypothèse de conservation de la luminosité d'un point-objet le long de la trajectoire du mouvement. Dans une vidéo, un pixel est représenté par sa fonction de luminance $I(x,y,t)$ où l'intensité I est supposée varier suite au mouvement entre deux instants t et $t + dt$. On note : $(I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I}{\partial y})$ les 2 composantes du gradient spatial ∇I ; $I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$ la dérivée temporelle de l'intensité; et $(u = \frac{dx}{dt}, v = \frac{dy}{dt})$ les 2 composantes du vecteur-vitesse V selon les directions (x,y) . L'équation du flux optique (dite équation de contrainte du mouvement) s'exprime alors :

$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (1)$$

Afin de trouver une solution unique pour les 2 composantes (u,v) du vecteur-vitesse V , on a besoin de deux équations indépendantes, d'où la nécessité d'ajouter une contrainte supplémentaire pour résoudre ce problème mal posé. Le choix de la contrainte conduit à différents algorithmes.

Les méthodes différentielles ont l'avantage d'être précises et faciles à mettre en œuvre : l'équation du flux optique fournit une estimation sous-pixellique du mouvement, et ne nécessite qu'un calcul local des dérivées spatio-temporelles de la séquence. Leur principale limitation résulte des 2 hypothèses : d'invariance de luminosité pendant le mouvement, et de petit déplacement. Pour des déplacements plus importants, il est néanmoins possible de résoudre le problème par des approches multirésolution.

3.1 Algorithme de Horn & Schunck

Cette méthode initiale de calcul du flux optique [2] combine l'équation de contrainte du mouvement avec une régularisation globale, grâce à un terme de lissage portant sur la somme des carrés des modules des gradients des composantes de vitesse en minimisant l'équation suivante :

$$\iint_D (\nabla I \cdot V + I_t)^2 + \alpha^2 (\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2) dx dy \quad (2)$$

α est un paramètre de pondération (typ. $\alpha = 1$) qui règle l'influence du lissage (régularisation). Un algorithme itératif (typ. 10 itérations) permet de minimiser l'intégrale sur un petit domaine D ; les équations itératives donnent u et v .

3.2 Algorithme de Lucas & Kanade

Cette méthode repose sur une régularisation locale du champ de vitesses [3]. On suppose un mouvement local

1. Merci à Valérie Bolliet de l'INRAE, qui a fourni les données vidéo.

constant (translation) dans de petites régions Ω de l'image (typ. de taille 40×40). Ceci s'exprime par :

$$\min_{u,v} \sum_{p \in \Omega} W^2(p) [I_x(p)u + I_y(p)v + I_t(p)]^2 \quad (3)$$

$W(p)$ est une fonction de fenêtrage (pondération) permettant de donner plus d'influence aux pixels p au centre de la région plutôt qu'à la périphérie. En appliquant la méthode d'estimation des moindres carrés pondérés, on trouve u et v . Cette méthode différentielle locale est intéressante car chaque calcul sur une petite région est indépendant des autres. Les résultats sont par ailleurs peu sensibles au bruit.

4 Résultat du traitement d'image

Les algorithmes s'appliquent sur 2 images successives. L'exemple en Fig. 1 comporte 4 civelles marquées : les 2 premières se trouvent en bas à gauche dans l'image, l'une avec un marquage double orange-orange court (rapproché) codé OOC, et l'autre, juste au dessus, avec un marquage orange-rouge long (espacé) codé ORL ; la 3ième se situe au milieu de l'image avec un code vert-vert long (VVL) ; la 4ième est à droite avec un code bleu-vert court (BVC). Le sens du courant de marée va de la droite vers la gauche de l'image (\leftarrow). Les civelles OOC et ORL nagent avec le courant, tandis que VVL et BVC nagent à contre-courant.



a) instant t b) instant $t + dt$ ($dt = 67ms$)

FIGURE 1 – Deux images successives typiques en nocturne.

4.1 Résultat avec Lucas & Kanade

Chaque zone encadrée en Fig.2a exhibe des flèches dont l'orientation globale correspond bien au sens de déplacement des civelles. La Fig.2b montre un zoom du champ de vecteurs de la zone centrale (c) : les flèches ont une taille identique, avec 2 orientations distinctes, traduisant la présence d'une seule civelle (tête et queue) qui se déplace vers le côté inférieur droit de l'image. Cette méthode peut donc fournir la direction et la vitesse de civelles (ici ≈ 8 cm/s).

4.2 Résultat avec Horn & Schunck

La Fig.3a montre un résultat typique de flux optique : le champ de vecteurs est quasi nul dans les zones du fond sans civelle mobile. La Fig.3b est un zoom de la partie centrale 160×70 (tête et queue de la civelle VVL). Le champ

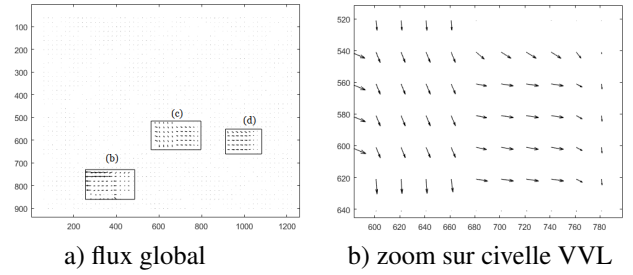


FIGURE 2 – Champ de vecteurs-vitesse de Lucas & Kanade.

de vecteurs exhibe 4 zones avec 2 orientations différentes des flèches : l'une vers l'intérieur de l'objet (convergence) ; l'autre vers l'extérieur (divergence). La divergence et la convergence reflètent la nage par ondulation d'une civelle. Le sens de nage peut s'en déduire : ici, la civelle nage vers la droite. L'algorithme fournit donc le sens de déplacement ainsi que l'allure du mouvement ondulatoire des civelles.

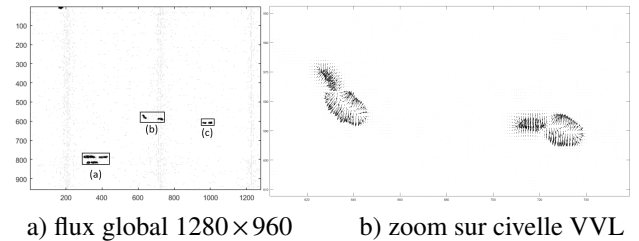


FIGURE 3 – Champ de vecteurs-vitesse de Horn & Schunck.

5 Conclusion et perspective

L'algorithme de Lucas & Kanade permet de déterminer le sens de nage des civelles et d'obtenir une estimation de leur vitesse. Celui de Horn & Schunck permet de préciser leur mouvement ondulatoire, ce qui pourrait être utilisé comme indicateur de dépense énergétique liée à la nage. Enfin, l'automatisation des mesures permettra de réduire le temps de travail de l'observateur biologique [4].

Références

- [1] J. Delcourt *et al.*, Video tracking in the extreme : a new possibility for tracking nocturnal underwater transparent animals with fluorescent elastomer tags, *Behavior Research Methods*, 43(2), pp.590-600, 2011.
- [2] B.K.P. Horn and B.G Schunck, Determining optical flow, *Artificial Intelligence*, vol.17, pp.185-203, 1981.
- [3] A. Bruhn *et al.*, Lucas/Kanade meets Horn/Schunck : combining local and global optic flow methods, *Int. J. of Computer Vision*, 61(3), pp.211-231, 2005.
- [4] N. Eldrogi, Vision par ordinateur pour suivi automatique et caractérisation de comportement de civelles, *Thèse de doctorat de l'université UPPA*, Juin 2021.