

NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

601



NICE du 16 au 20 MAI 1983

METHODES DE DETERMINATION D'UN CHAMP DE VITESSE SUR MODELE HYDRAULIQUE PAR ANALYSE D'IMAGES

B. GEORGEL, A. SQUALLI^{**}, B. BOISSON, D. BARRAULT

Electricité De France, Etudes et Recherches, 6, Quai Watier, 78400 Chatou
^{**}Université Paris-Sud, Orsay

RESUME

Nous présentons un système d'analyse d'images permettant d'estimer un champ de vitesse à partir d'images de flotteurs prises par une caméra sur un modèle hydraulique.

Un module de numérisation a été réalisé qui assure l'interface entre la caméra vidéo et le mini-ordinateur de traitement.

Trois classes de méthodes (relationnelle, ajustement et intercorrélacion) permettent de comparer deux images et d'en déduire une correspondance entre points représentatifs des flotteurs. Les qualités des méthodes sont examinées.

La solution définitive testera la densité en flotteurs de chaque région d'image avant de choisir l'une des méthodes.

SUMMARY

We are interested in estimating velocity fields from video camera images of small floating objects.

In order to digitize images and provide them to a mini-computer a microprocessor-based interface has been designed and carried out.

Three main classes of methods can be tried : relational, adjustment and crosscorrelation. They make possible a comparison between two images from which we can derive a correspondance between flow motion's representative pixels. The pros and cons of the different methods are pointed out.

We suggest to implement an adaptive method which takes into account region density of images before choosing a particular algorithm of matching.



METHODES DE DETERMINATION D'UN CHAMP DE VITESSE
SUR MODELE HYDRAULIQUE PAR ANALYSE D'IMAGES

INTRODUCTION

L'impact des rejets d'eau chaude des centrales nucléaires en bord de mer est étudié au Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF, à l'aide de modèles réduits pilotés par ordinateur, qui simulent le mouvement des marées (figure 1).

L'objectif de notre étude est de mesurer directement sur la maquette le champ de vitesse à la surface de l'eau. Ces résultats serviront à valider les mesures sur modèle et à prévoir l'impact de la dispersion des rejets.

Dans un but de rapidité et d'automatisation, nous avons choisi d'acquérir plusieurs images successives du modèle, à l'aide d'une caméra. Des petits flotteurs dispersés sur l'eau matérialisent les courants. La comparaison de deux images permet d'estimer le champ de vitesse. Une interpolation à 2 dimensions fournit les vitesses aux noeuds d'un maillage imposé.

Nous présentons :

- Le module d'acquisition réalisé par la Division Transmission-Traitement d'EDF.
- Une comparaison de diverses méthodes d'estimation du champ de vitesse à partir d'images de scènes dynamiques.

ACQUISITION DES IMAGES

Choix d'une architecture

Les caractéristiques géométriques du problème (maquette de 12 m de côté, flotteurs de 2 cm de diamètre) obligent à choisir une résolution d'au moins 1024 points (soit 1,2 cm entre pixels). La solution d'une mémoire d'image aurait conduit à un coût élevé. Nous avons préféré utiliser directement la mémoire de masse du mini-ordinateur de traitement et réaliser une interface de numérisation de faible capacité-mémoire. Ce choix impose de réduire la quantité d'information à transmettre au calculateur : en seuillant l'image à l'entrée (0 ou 1) et en nous limitant à 64 informations par lignes, nous obtenons des images numérisées de 64 Kmots de 16 bits (la réduction est dans le rapport 1 à 16) et une durée d'acquisition de 640 ms pour une image. Notre solution se justifie par le fait que seul l'emplacement des flotteurs nous intéresse, que les conditions de contraste des images sont bonnes et que la vitesse maximale des flotteurs est assez faible (typiquement 7 cm/s). Remarquons que les réglages de la caméra doivent être très soignés si l'on veut obtenir des flotteurs sans diffusion (halo de lumière).

Composition du système (figures 2, 3)

Le système d'acquisition et de traitement se compose de :

- une caméra vidicon HAMAMATSU C 1000, 1024 x 1024 points, à quadruple entrelacement et à seuillage analogique,
- une interface de numérisation,
- un mini-ordinateur 16 bits HEWLETT-PACKARD 1000/2117F à 256 Kmots de mémoire centrale,
- des périphériques de stockage (disque, bande magnétique), de dialogue (console) et de tracé (écran graphique, reprographie).

Interface de numérisation

L'interface est pilotée par un microprocesseur en tranches MOTOROLA 10800, en technologie ECL. Elle assure la synchronisation entre le balayage de la caméra et les demandes d'acquisition du calculateur. L'image ne peut être numérisée et stockée en temps réel. Quatre limitations indépendantes :

- quadruple entrelacement,
- acquisition d'un pixel sur deux (cadence maximale du processeur : 13 MHz),
- exploration par moitiés d'image (gauche/droite) à cause du transfert au calculateur pendant un retour ligne (20 us),
- saut d'un balayage de 256 lignes, nécessaire pour vider un tableau sur le disque,

obligent à démêler les images avant de les traiter.

Les abscisses des transitions sont stockées dans une mémoire rapide ECL de 16 mots de 16 bits. Le transfert au calculateur est fait en accès direct mémoire par tableaux de taille fixe (4 K mots). Un tableau représente une image partielle de 256 lignes de 16 mots : il est rempli en 20 ms.

L'interface se compose de :

- un séquenceur de microprogramme (2 tranches 10801),
- une mémoire de microprogramme (PROM-ECL) de 128 pas de 32 bits,
- un multiplexeur de conditions à 16 entrées,
- une Unité Arithmétique et Logique (4 tranches 10 803),
- une mémoire (RAM-ECL) de 16 mots de 16 bits,
- des translateurs ECL/TTL et inverses.

METHODES DE TRAITEMENT (1), (4)

Une fois démêlées, les images brutes (figure 4) sont transformées de façon à remplacer chaque amas de points par son barycentre. La comparaison de deux images chronologiques peut alors être faite de plusieurs manières :

- l'intercorrélation, très utilisée en météorologie pour les photos-satellites se réduit ici à une corrélation de signes,
- l'ajustement minimise une distance entre points des deux images,
- les méthodes relationnelles consistent à imposer des contraintes physiques réalistes (vitesse, direction, ...) aux déplacements des flotteurs et à choisir la configuration d'appariement optimale.

Ces trois méthodes sont locales, car on traite des fenêtres prises dans chaque image. L'intercorrélation compare globalement les fenêtres et fournit un déplacement moyen pour chacune d'elles, tandis que les deux autres méthodes réalisent l'appariement point par point et fournissent un vecteur-déplacement pour chaque point.

Méthode relationnelle (2), (4), (7)

On construit un arbre de la manière suivante : les noeuds sont les positions des flotteurs, les branches représentent des appariements possibles entre flotteurs, une configuration constitue une étape.

Partant d'un flotteur courant, approximé par un barycentre, on lui associe tous les flotteurs de la 2ème image situés à une distance inférieure au déplacement maximal prévisible. On procède de même pour tous les flotteurs de la fenêtre de la 1ère image. Ceci nous fournit n branches possibles. On évalue, pour chaque branche, l'écart angulaire du déplacement par rapport à la direction moyenne de l'étape précédente. Une branche sera développée selon qu'elle satisfait ou non à un critère de seuil. Chaque fois qu'un flotteur est utilisé, sa position est éliminée. Quand la fenêtre entière a été explorée, on dispose de plusieurs appariements possibles. On choisit la solution qui donne le plus de vecteurs-déplacements pour la fenêtre étudiée tout en minimisant la somme des écarts (en module et en direction) des vecteurs au module et direction angulaire moyens de la fenêtre (figure 5).

METHODES DE DETERMINATION D'UN CHAMP DE VITESSE
SUR MODELE HYDRAULIQUE PAR ANALYSE D'IMAGES

Ajustement

L'ajustement correspond à la méthode de ENDLICH et coll. (5). Dans la 2ème image, on considère une zone de recherche contenant plus de points que la fenêtre de travail et dont la taille est déterminée par la vitesse maximale prévisible.

On calcule tous les déplacements possibles pour tous les points de la fenêtre de travail. On cherche ensuite le couple (i,j) qui minimise la fonction :

$$F(i,j) = [(\Delta x(i,j) - \Delta x_m)^2 + (\Delta y(i,j) - \Delta y_m)^2]^{1/2}$$

avec : - i : flotteur de la fenêtre
- j : flotteur de la zone de recherche
- $\Delta x(i,j)$ et $\Delta y(i,j)$: écarts entre les flotteurs i et j
- Δx_m et Δy_m : valeurs les plus fréquentes des écarts pour la fenêtre traitée (modes).

Ceci est simple si les déplacements des différents flotteurs de la fenêtre sont voisins les uns des autres. Si, par contre, les modes sont difficiles à distinguer, on utilise les médianes des écarts. On détermine alors un premier mariage entre points. On calcule les valeurs moyennes des écarts pour ces couples de points. Ces valeurs sont ensuite utilisées comme modes dans la fonction F. Ceci conduit à un nouveau mariage. Par itération, on converge vers l'appariement définitif.

Intercorrélation (3), (6)

Le principe est de corrélérer une fenêtre de la 1ère image avec une fenêtre de même taille de la 2ème image, prise dans une zone dont la taille correspond au déplacement maximal prévisible. On calcule la corrélation bi-dimensionnelle normalisée $R(m,n)$ (1) :

$$R(m,n) = \left[\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A(k,l) \cdot B(k+m,l+n) \right] \left[\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A^2(k,l) \cdot \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L B^2(k+m,l+n) \right]^{-1/2}$$

Le déplacement moyen de la fenêtre est estimé par le décalage (m,n) pour lequel $R(m,n)$ est maximum (figure 6).

Dans notre cas, $R(m,n)$ se réduit à une corrélation de signe normalisée (3) :

$$R(m,n) = \frac{1}{K \cdot L} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L A(k,l) \otimes B(k+m,l+n)$$

où \otimes représente le OU exclusif. Bien que fort simple, ce calcul demande pourtant environ 10 mn de temps d'exécution pour une image complète.

La taille de la fenêtre de travail est choisie suffisamment grande pour que l'on dispose de suffisamment de flotteurs et suffisamment petite pour que le lissage du champ de vitesse ne soit pas trop gênant.

COMPARAISON DES TROIS METHODES

La corrélation est beaucoup plus lente que les autres méthodes. Mais celles-ci obligent à interpoler les résultats. Elles semblent aussi plus dépendantes de la nature des images traitées (densité des flotteurs, homogénéité, seuillage, ...). La méthode rationnelle est moins sensible que l'ajustement au déplacement des points d'une fenêtre les uns par rapport aux autres.

Validation des estimations de champs de vitesse

Les moyens de validation sont les suivants :

- en un point ou sur une petite zone, la vitesse est accessible grâce à des moulinets,
- globalement, la méthode manuelle actuelle consiste à photographier, en pose, le modèle et à mesurer la longueur des traits représentant les déplacements. La photographie peut être synchronisée avec notre prise d'images.
- sur l'ordinateur, on synthétise une image avec des flotteurs répartis aléatoirement, on leur impose des déplacements connus et on applique les méthodes précédentes.

Cette phase de validation est actuellement en cours. Elle devra préciser le taux d'erreur d'appariement, la précision sur les vecteurs-déplacements ainsi que la qualité du traitement pour des zones hydrauliquement perturbées (turbulences).

CONCLUSION

Nous avons montré qu'il était possible, grâce à des algorithmes d'analyse d'images, de déterminer un champ de vitesse sur un modèle hydraulique.

Dans la mesure où le champ de vitesse final doit être calculé aux noeuds d'un maillage pré-déterminé, l'intercorrélation paraît préférable, malgré le temps de calcul qui pénalise le fonctionnement en temps réel et malgré le fait que, au niveau de chaque flotteur individuel, les méthodes d'appariement sont plus précises. Pour les régions à forte densité de flotteurs, l'appariement est cependant susceptible d'un taux d'erreurs important.

En conséquence, nous pensons utiliser une méthode mixte pour le système final : selon la densité des flotteurs, les vitesses seront déterminées par corrélation ou par appariement.

REFERENCES

- (1) W. K. Pratt - "Digital Image Processing" - WILEY INTERSCIENCE (1978).
- (2) S. Bez - "Acquisition et traitement d'image sur un modèle hydraulique" - Rapport interne EDF-DER (1981).
- (3) T. Idogawa, K. Nagai, H. Akazawa - "Displacement Measurement by Coincidence of Random-Pattern Images using cross-correlation" - Actes de la 3ème Conférence IMEKO, Berlin (1982).
- (4) A. Squalli - "Détermination du champ de vitesse d'un écoulement à surface libre par des méthodes d'analyse d'images" - Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Paris-Sud, à paraître (1983).
- (5) E. Endlich, D. Wolf, D. Hall, A. Brain - "Use of a Pattern-Recognition techniques for determining cloud motions from sequences of satellite photographs" - Journal of Applied Meteorology, Vol. 10, pp 105-117 (1971).
- (6) M. Desbois et coll. - "Détermination des champs de vent à partir de photographies de satellites géostationnaires" - Rapport interne du Laboratoire de Météorologie Dynamique, Ecole Polytechnique, Palaiseau (1981).
- (7) D. Ballard, C. Brown - "Computer Vision" - Department of Computer Science - Actes de l'Ecole d'Eté d'Informatique (EDF-CEA INRIA), Rochester (1979).



METHODES DE DETERMINATION D'UN CHAMP DE VITESSE
SUR MODELE HYDRAULIQUE PAR ANALYSE D'IMAGES

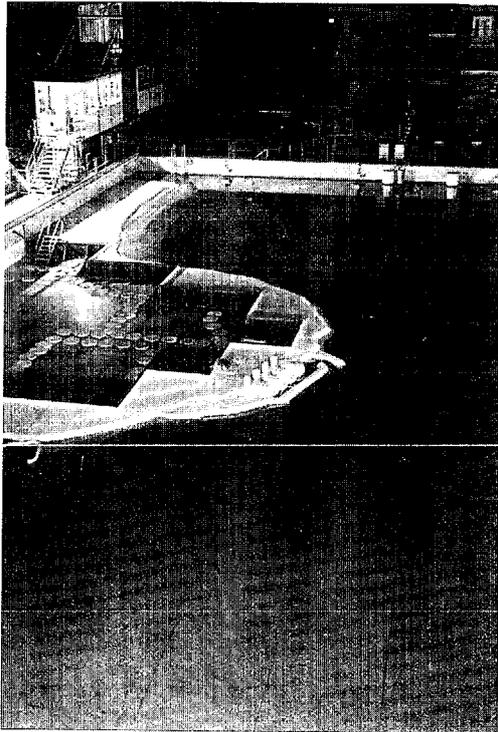


Figure 1 : Cuve courantologique - Modèle de l'im-
plantation de la centrale de Flamanville.



Figure 3 : Système d'acquisition et de traitement.

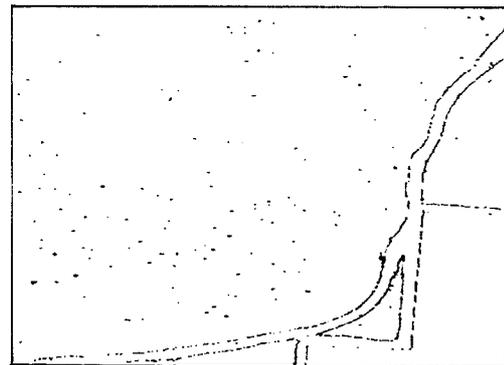


Figure 4 : Image brute.

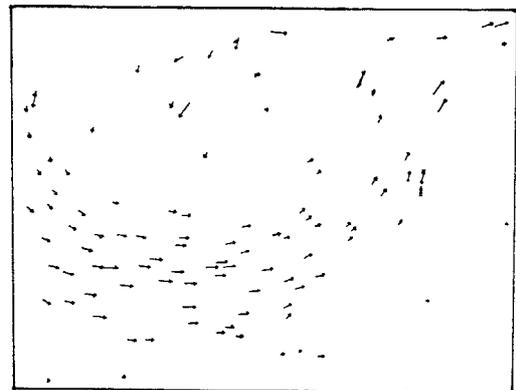
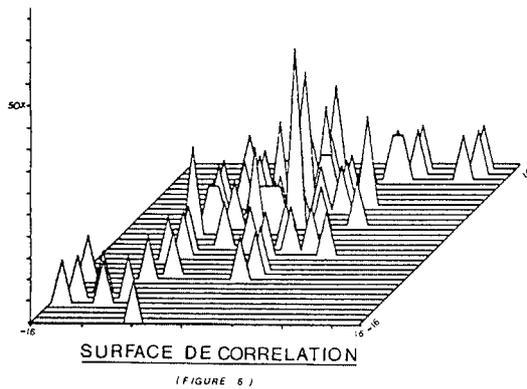
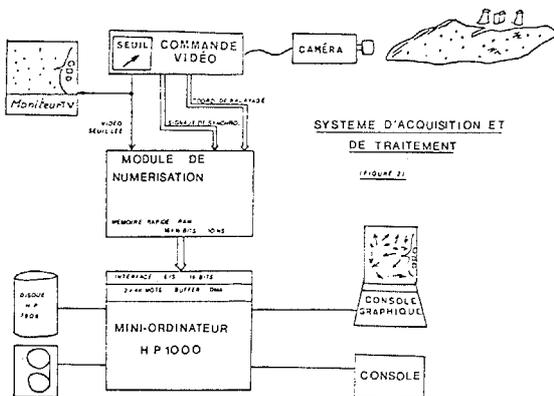


Figure 5 : Champ de vitesse obtenu par la méthode
relationnelle.