

UTILISATION DE CIBLES ACTIVES CODEES POUR L'ANALYSE DE MOUVEMENTS

Philippe COSQUER*, Michel CATTOEN**

* Groupe Image LASTI-ENSSAT, 6 rue de Kerampont BP 447, 22305 Lannion Cedex, FRANCE.

** GTTSI-ENSEEIH, 2 rue C. Camichel 31071 Toulouse, FRANCE.

RÉSUMÉ

Les applications liées aux analyseurs de mouvements sont de plus en plus diverses et nécessitent de réaliser des expériences dans des environnements dont les conditions lumineuses ne sont pas contrôlées. Aussi, l'emploi dans ces systèmes de cibles actives codées permet l'identification automatique de celles-ci, par traitement des images numérisées de la scène. Plusieurs systèmes commercialisés utilisent déjà ce type de cibles, mais aucun ne fonctionne avec des capteurs vidéo ni ne fournit d'images de contrôle.

Le but de cet article est de présenter une méthode de codage temporel de l'émission des cibles, pour des environnements lumineux non maîtrisés et pour un analyseur de mouvements employant des capteurs monochromes. L'intérêt principal de cette méthode est qu'elle n'est pas contraignante pour le sujet à étudier.

ABSTRACT

The applications possible with motion analysers are becoming more and more diverse, and require experiments to be carried out in an environment within which the luminous conditions are not controlled. In this way, the use in these systems of active coded targets allows the latter to be automatically identified by analysis of the digitalized images of the scene. Several commercialized systems already use this type of target, however, none of them function with video sensors or provide monitoring images.

The object of this article is to present a method of temporal coding of target emission, for non-controlled luminous environments and for a motion analyser using monochrome captors. The main advantage of this method is that it is not restricting for the subject being studied.

1. INTRODUCTION

Depuis les années 1960, il existe des analyseurs de mouvements, appelés encore kinésigraphes, employant des caméras vidéo [FURN, 89]. Leur fonctionnement repose sur l'analyse des déplacements d'un certain nombre de cibles placées sur le sujet et dont les images sont acquises par un ou plusieurs capteurs, à l'intérieur d'un volume expérimental calibré. L'analyseur de mouvements peut être décomposé en trois fonctions distinctes [FERR, 85] (calibrage des caméras, acquisition et traitement des données, reconstitution des mouvements en trois dimensions).

Les applications des kinésigraphes sont de plus en plus étendues, notamment dans des milieux dont l'environnement lumineux est mal contrôlé (domaine de l'espace, de l'automobile, du sport [ORKI, 90], etc...). Ainsi, afin de dépouiller de façon automatique les images issues d'expérimentations, il est nécessaire d'identifier les cibles portées par le sujet, pour les différencier des autres objets de la scène. Jusqu'à présent, aucun des kinésigraphes commercialisés ne permet cette identification à l'aide de caméra vidéo [FURN, 89][COHE, 90]. Aussi, l'utilisation de cibles actives codées autorise leur identification par traitement des images acquises. Cet aspect du système d'acquisition est novateur. De plus, une analyse en temps réel permettant de contrôler l'émission des cibles actives pour les images suivantes et donc de s'affranchir en partie de l'environnement lumineux, est concevable.

Au cours de notre étude, deux systèmes de codage ont été mis en oeuvre [COSQ, 94b], mais la contrainte temps réel n'a pas été retenue. Après une brève présentation des solu-

tions étudiées, nous expliciterons un type de codage qui a donné lieu à un prototype développé en collaboration avec une entreprise. Puis, nous présenterons des résultats relatifs à des expérimentations.

2. PRINCIPE DU CODAGE

Après le codage par la couleur des cibles actives [COSQ, 93], nous avons étudié le codage temporel. Cette forme de codage est basée sur l'évolution au cours du temps, de la luminance émise par chaque cible active, acquise par une caméra monochrome [COSQ, 94a]. L'inconvénient principal de ce type de codage est qu'il est nécessaire de traiter une séquence d'images afin de réaliser l'identification des cibles actives. En effet, à chaque trame acquise correspond un bit du code émis par les cibles. Le niveau "1" est représenté par une forte émission lumineuse et le niveau "0" par une faible émission.

Une des formes de codage temporel développées est le codage sur deux niveaux de luminance des cibles. Ainsi, l'analyse des codes est réalisée à partir de la différence des niveaux de luminance des objets au sein d'images successives. Ce type de codage possède l'avantage de fournir sur toutes les images une trace lumineuse de la cible active, dans le cas où celle-ci est visible par la caméra. Il est possible de mettre en oeuvre un grand nombre de systèmes de codage binaire à deux niveaux. Les types de codage temporel que nous avons étudiés peuvent être classés en deux catégories :

- codage temporel en mode "synchrone",
- codage temporel en mode "asynchrone".



Dans le mode "synchrone", l'émission lumineuse des cibles actives est synchronisée avec l'acquisition des images de la scène. Pour cela, il est nécessaire qu'une liaison (filaire ou sans contact) existe entre les cibles et la prise d'images.

En revanche, dans le mode asynchrone, les cibles émettent indépendamment de la fréquence d'analyse des caméras et aucune liaison n'est nécessaire. Par contre, les cibles émettent leur code lumineux de façon synchrone et sont reliées à un boîtier de synchronisation porté par le sujet. Cette dernière méthode fait l'objet de cet article.

3. CODAGE TEMPOREL ASYNCHRONE

Pour la conception du prototype lié à ce type de codage, le travail a été décomposé en deux parties distinctes (définition et mise en oeuvre du système de codage, conception et réalisation de cibles actives). Nous avons étudié la première partie, tandis que la seconde a été développée par un industriel.

3.1 Concept du codage asynchrone

Un système qui emploie un procédé de codage asynchrone doit fonctionner avec une commande de cibles actives autonome et spécifique à chaque type de codage. De plus, cette commande doit être compatible avec l'acquisition des images effectuée par une caméra vidéo à matrice CCD, munie d'un obturateur électronique variable. En conséquence, pour qu'un bit de code émis par une cible active soit acquis à chaque fois de façon certaine par la caméra, il faut que le temps d'allumage du bit émis T_{all} remplisse la condition :

$$T_{all} \geq T_{trame} + T_{int} \quad (3.1)$$

où T_{trame} correspond au temps existant entre deux synchronisations trame et T_{int} au temps d'intégration du capteur vidéo pendant la période trame.

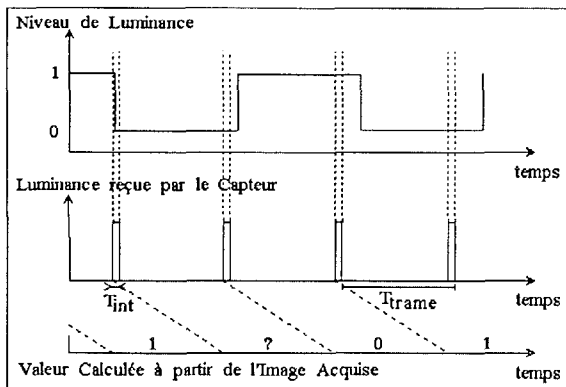


Figure 3.1

La figure 3.1 montre le problème consécutif au défaut de synchronisation entre les codes émis et l'acquisition des images correspondantes. Lorsque le changement de bit s'effectue pendant le temps d'intégration T_{int} , le niveau de luminance intégré se situe entre les niveaux "1" et "0" des bits émis. Quatre images acquises sont donc associées à 3 bits émis. Nous nommons cette anomalie, "problème lié à l'asynchronisme". En conséquence, les cibles ne peuvent pas être pulsées, mais doivent émettre de façon continue.

Pour que le dépouillement des séquences se déroule de manière automatique, il est nécessaire qu'une synchronisation soit contenue dans le code. Afin de comparer leurs performances, deux types de codage ont été retenus. Leur syn-

chronisation est choisie au niveau haut de luminance. Ces deux formes de codage, présentées pour coder huit cibles, sont :

- codage par mot binaire,
- codage par la durée du niveau bas de luminance.

3.2 Codage par mot binaire

Dans ce type de codage, la durée de l'émission de la synchronisation est supérieure au nombre de bits contenus dans le code d'identification des cibles. Un bit de "start" et un bit de "stop" émis tous deux à l'état bas sont présents pour séparer le code d'identification de la synchronisation. La séquence complète d'émission pour ce code est proposée figure 3.2. Neuf bits suffisent à l'émission d'un code complet d'identification. Ainsi, pour le bon fonctionnement de ce procédé de codage, il faut que la cible soit visible par la caméra au moins neuf images consécutives (180 ms pour $T_{trame} = 20 \text{ ms}$).

L'inconvénient lié à ce système de codage est qu'en raison du problème de l'asynchronisme, le code émis peut être mal interprété. En choisissant $T_{all} = T_{trame} + T_{int}$, le problème de l'asynchronisme ne se produit que toutes les $(T_{err} = T_{int}/T_{all})$ trames. Ainsi, seules 25% des séquences ne sont pas identifiées, car dans ce cas, les 5 bits significatifs du code sont vus par 6 trames successives. De plus, deux séquences successives d'émission des codes ne peuvent être concernées par le problème de l'asynchronisme. Ce défaut est éliminé par un programme d'interpolation.

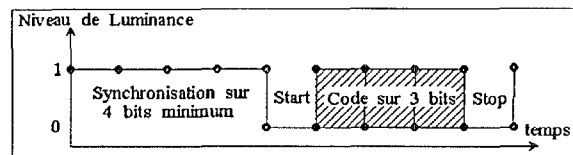


Figure 3.2

3.3 Codage par la durée du niveau bas de luminance

Dans ce type de codage, le nombre T_{all} émis au niveau bas détermine la valeur du bit de code considéré. Le niveau haut est utile pour l'émission des bits séparateur de code, ainsi que pour celle des bits de synchronisation dont la durée est supérieure à au moins trois fois celle du bit séparateur de code. Ainsi, si le problème lié à l'asynchronisme se produit lors de l'émission d'un bit séparateur, il ne peut y avoir confusion avec le mot de synchronisation.

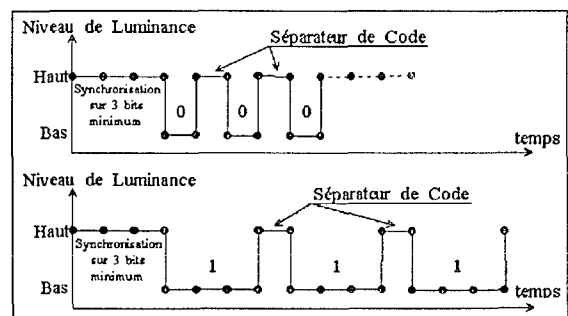


Figure 3.3

Pour l'identification de la cible, un bit unique émis au niveau bas représente un code "0" et trois bits successifs émis au niveau bas, un code "1" (en raison du problème lié à l'asynchronisme). La séquence de ce type de code est présentée figure 3.3. Il est à noter que le temps total d'émission d'un code est variable en fonction de sa valeur. Afin que les codes d'émission restent synchronisés entre eux, la durée de la syn-



chronisation est propre à chaque cible. Ainsi toutes les séquences sont de même longueur et l'émission du 1^{er} bit significatif du code d'identification est synchrone pour toutes les cibles. L'avantage de ce système de codage est qu'il est indifférent au problème d'acquisition lié à l'asynchronisme.

4. ALGORITHME LIE AUX FORMES DE CODAGE ASYNCHRONE

L'acquisition des images n'étant pas synchrone vis à vis de l'émission des codes, le traitement est effectué sur l'ensemble de l'expérience stockée et non séquence par séquence. Un logiciel a été développé pour chacune des deux formes de codage asynchrone. Le synoptique de l'algorithme est représenté à la figure 4.1.

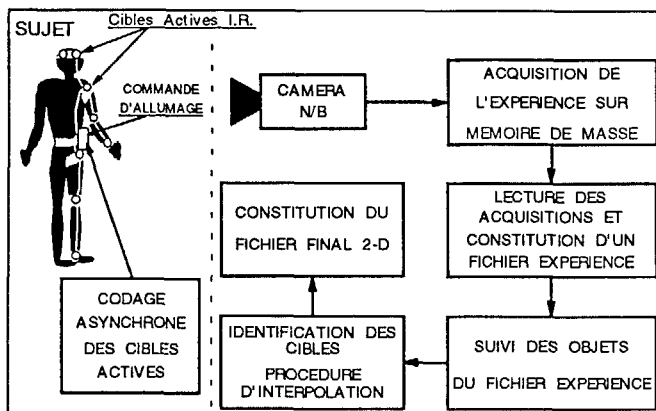


Figure 4.1

L'algorithme employé est le suivant. Lors de l'utilisation du prototype, les différents codes lumineux sont émis par huit cibles reliées par fil à un boîtier de commande autonome en énergie, porté par le sujet. Pour les deux formes de codage, les images issues de la caméra monochrome sont acquises sur mémoire de masse. Puis, lors du dépouillement, un fichier permettant la caractérisation des objets de l'expérience est constitué. Un suivi de ces objets est alors effectué et l'identification des cibles est réalisée. Après une procédure d'interpolation, le fichier final est constitué. A l'exception de la phase d'identification, l'algorithme est identique pour les deux formes de codage.

5. MISE EN OEUVRE DU CODAGE ASYNCHRONE

Les différentes composantes du prototype utilisé, dont la configuration matérielle est présentée à la figure 5.1, sont :

- 8 cibles actives Infrarouges,
- 1 boîtier de commande des cibles,
- 1 caméra vidéo CCD munie d'un obturateur électronique,
- 1 magnétoscope S-VHS,
- 1 Module de Vision (carte d'acquisition et de numérisation d'images et carte de visualisation),
- 1 moniteur de contrôle,
- 1 ordinateur de type PC-AT.

Les cibles sont composées de trois diodes identiques placées en triangle sur une base circulaire de 1,5 cm de diamètre et coiffées d'une optique semi-sphérique. Leur angle d'ouverture est de 170°. La figure 5.2 présente l'aspect d'une cible. La séquence d'allumage des cibles dépend du type de

codage asynchrone employé. Celle-ci est mémorisée dans le boîtier de commande avant chaque expérience. Cette opération est réalisée par un programme qui permet de définir les différentes séquences et de les télécharger dans le boîtier de commande, à travers une liaison RS-232.

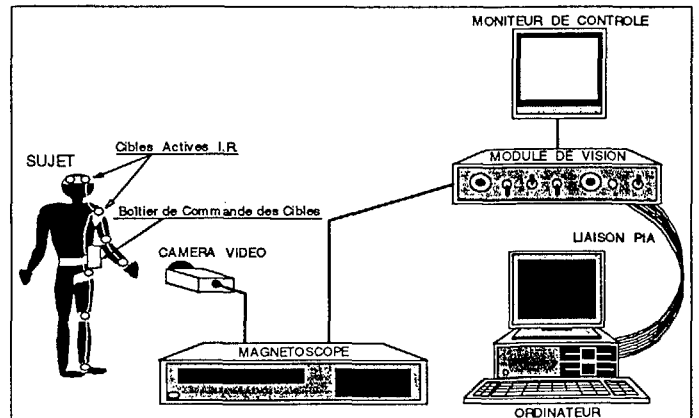


Figure 5.1

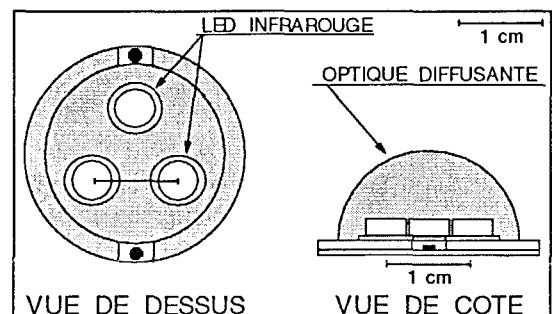


Figure 5.2

L'expérimentation se décompose en deux parties distinctes (acquisition et dépouillement). Afin d'effectuer l'acquisition de l'expérience, les cibles et le boîtier de commande sont placés sur le sujet. Le diaphragme de la caméra est réglé afin que le flux lumineux de la scène soit faible vis à vis du flux lumineux émis par les cibles actives. Le magnétoscope est alors placé en mode d'enregistrement et l'expérience peut débuter. La première opération du dépouillement consiste à numériser l'ensemble des images de l'expérience, puis le programme de dépouillement automatique du logiciel est lancé.

6. EXPERIMENTATIONS ET RESULTATS

Les manipulations effectuées ont permis de valider le prototype liant les cibles actives et les logiciels de codage asynchrone. Seules quelques expériences sont présentées ici.

6.1 Expérimentations avec cibles fixes

Lors d'une première série d'expérimentations, le bon fonctionnement des huit cibles actives a été vérifié, pour différentes distances cibles-caméra. Une seconde série d'expérimentations a permis de déterminer si l'identification des cibles actives se déroule correctement sur l'ensemble du volume spatial de travail souhaité (entre 1 m et 3 m de profondeur). Sur l'ensemble de la dynamique étudiée (de 1 à 4 m), les cibles ont été parfaitement identifiées et les objets parasites éliminés. Au delà de 4 m, les cibles sont vues trop petites pour que le logiciel les prenne en considération. Le tableau 6.1 présente la surface moyenne vue en nombre de pixels de deux ci-



bles, pour des distances variant de 1 m à 4 m, ainsi que les écarts-type sur les mesures.

Distance (en mètre)		Cible N° 5				Cible N° 6			
		1	2,8	3	4	1	2,8	3	4
Surface	Code *1*	145,4	31	20,7	13	158,3	27,8	21,9	13,6
	Code *0*	59,8	10,6	8,7	4,6	73,8	12,7	9,2	5,1
Ecart Type	Code *1*	13,9	2,6	2,4	2,6	12,1	4,5	2,2	1,4
	Code *0*	2,3	1,3	1,2	0,5	3,9	1,9	1,9	0,9

Tableau 6.1

6.2 Expérimentations avec cibles mobiles

Plusieurs essais ont été effectués avec des cibles en mouvement. Dans certains cas, les cibles sortent momentanément du champ de vue ou sont volontairement cachés durant l'expérimentation. Les cibles ne sont identifiées que pour les séquences qui ne comportent pas de problèmes liés à l'asynchronisme (cas du codage par mot binaire). Lorsqu'une cible sort du champ de vue ou est momentanément cachée, elle est de nouveau identifiée sans ambiguïté.

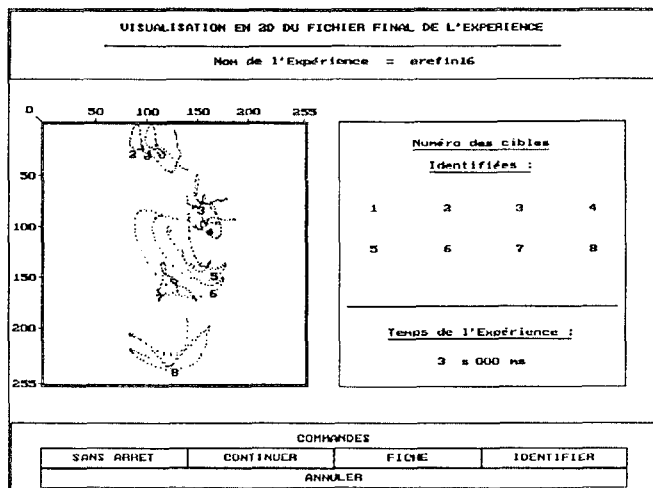


Figure 6.2

Nous présentons sur la figure 6.2 le résultat du dépouillement d'une expérimentation réalisée pendant 17,26 secondes sur des mouvements effectués par un sujet muni de huit cibles actives. Sur cet écran de visualisation 2-D, seules les trois premières secondes sont représentées. Bien que les cibles apparaissent et disparaissent du champ de vue de la caméra en fonction de l'angle de leur émission lumineuse vis à vis de l'axe optique du capteur, elles sont automatiquement identifiées lors du traitement. La photo 6.2 est une image de la scène.

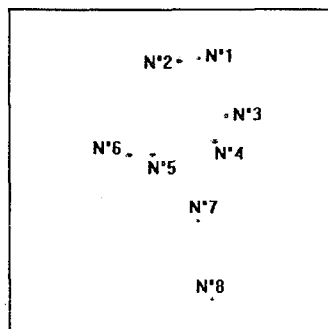


Photo 6.2

6.3 Evaluation du temps de dépouillement

Le temps de dépouillement a été évalué à partir de plusieurs expérimentations. Des images comportant un nombre varié d'objets (de 2 à 223) ont été analysées à l'aide d'un microprocesseur de type PC-AT 486-DX2-66. Le temps moyen de dépouillement se décompose de la façon suivante :

- 72 ms par image (seuillage automatique),
- 340 ms par image (constitution du fichier "Expérience"),
- 4,15 ms par élément du fichier "Expérience", pour l'identification des cibles actives.

Il faut donc en moyenne 28,9 secondes sur ce type de micro-ordinateur pour traiter une expérimentation de 1 seconde (50 images), dont les images comportent 40 objets en moyenne. Si l'on considère que le prétraitement peut être effectué en temps réel par une carte spécialisée, le temps de traitement est alors ramené à 8,3 secondes pour une seconde d'expérimentation (dans le cas de 40 objets).

7. CONCLUSION

Le kinésigraphe est un appareil spécifique dont les applications actuelles sont diverses. En ce qui concerne le domaine spatial, aucun constructeur d'analyseurs de mouvements ne s'est intéressé jusqu'à présent, à la mise au point d'un système qui puisse être employé à l'intérieur d'une station orbitale.

L'avantage du codage temporel asynchrone vis à vis du codage temporel synchrone est l'absence de la contrainte physique existante entre le sujet et l'appareil de prise de vue. En revanche, l'illumination des cibles doit être continue, ce qui ne permet pas de profiter du mode d'allumage impulsif des diodes électroluminescentes.

Pour l'instant, le boîtier de contrôle d'allumage du prototype expérimental employant le codage asynchrone est assez volumineux et il existe des fils entre le boîtier et les cibles. Mais il est envisageable de concevoir un vêtement adapté qui contiendrait les différentes liaisons. En outre, la réalisation du concept temps réel autoriserait un contrôle actif des cibles et l'élimination du magnétoscope.

8. REFERENCES

- [COIE, 90] COHEN SABBAN, DEPARIS, LEFORT "Etude, Analyse de la valeur du système de mesure d'attitude nouvelle génération", Bertin, 1990.
- [COSQ, 93] P. COSQUER, M. CATTOEN "Concept of active coded targets for 3D vision", Deuxième colloque international IMAGE'COM, p 133-138, Bordeaux, France, mars 1993.
- [COSQ, 94a] P. COSQUER, M. CATTOEN "Encoding processes of active markers for motion analysis system", in Image and Video Processing II, Sarah A. Rajala, Robert L. Stevenson, Editors, Proc. SPIE2182, p 188-199 (1994).
- [COSQ, 94b] P. COSQUER "Contribution à la conception d'un analyseur de mouvements utilisant des cibles actives", Thèse de docteur de l'INP de Toulouse, soutenue le 13 juillet 1994 à l'ENSEEIH.
- [FERR, 85] G. FERRIGNO, A. PEDOTTI "ELITE : a digital dedicated hardware system for movement analysis via real-time TV signal processing", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol BME-32, N°11, November 1985.
- [FURN, 89] E. H. FURNEE "TV/Computer motion analysis systems, the first two decades", TU Delft, 1989.
- [ORKI, 90] M. ORKISZ "Eléments du traitement d'images et analyse du mouvement humain" Thèse de Docteur, INP Grenoble, 1990.