

**Algorithme d'échantillonnage pour la reconstruction 3D d'objets
définis par des coupes parallèles et implémentation par une
architecture de traitement temps réel**

A. TALEB. AHMED, J.B. CHOQUEL,
F. WAUQUIER, J.P. DUBUS

LABORATOIRE DE MESURES AUTOMATIQUES

Université des Sciences et Techniques de Lille Flandres Artois

U.F.R. I.E.E.A Bat P3 3ème étage 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex France

SUMMARY

In a certain number of applications using 3D object reconstruction. The data is presented in the form of single or multiple closed contours. The reconstruction, obtained by triangulation and a realistic shadowing relies on its representation as a set of nodes or facet tops. We propose a simple sampling technique for each contour based on inspecting the relative difference between the contour surface and the surface of a polygon whose tops are sampling points. We describe the architecture which performs this sampling and allows the definition of an object from its tops in several tens of milliseconds.

RESUME

Dans un certain nombre d'applications de reconstruction 3D d'objets les données se présentent sous forme de courbes fermées uniques ou multiples. La reconstruction, obtenue par triangulation et rendu réaliste, s'appuie sur leur représentation sous forme d'un ensemble de noeuds ou sommets de facettes. Nous proposons une technique simple d'échantillonnage de chaque contour basée sur le contrôle de la différence relative entre la surface du contour et celle du polygone dont les sommets sont les points échantillonnés. Nous décrivons une architecture qui réalise cet échantillonnage et qui permet de définir un objet par ses sommets en quelques dizaines de millisecondes.

INTRODUCTION

De nombreux systèmes d'imagerie tridimensionnelle ont été proposés pour résoudre le problème de la reconstruction 3D d'objets. Leurs principales limitations, dans le cadre d'une utilisation clinique est sans aucun doute leur manque de convivialité et d'interactivité, liées essentiellement à la taille de la base de données.

Dans un certain nombre d'applications de reconstruction 3D d'objets, les données sont présentées sous forme de courbes fermées uniques ou multiples. Ces courbes correspondent aux coupes successives de l'objet dans des plans parallèles. Un objet est généralement décrit à l'aide de 20 à 50 coupes.

La base de données correspondante contient une très grande densité d'informations géométriques de surface redondantes.

Pour la reconstruction 3D, soit par triangulation, soit par modélisation surfacique, il est nécessaire de ne retenir que quelques points pertinents de chaque coupe. Si l'on ne retient qu'un très petit nombre de points sur chaque coupe de l'objet, la base de données peut être très réduite. Mais dans ce cas, le polygone de la courbe qui s'appuie sur ces points ne sera

qu'une représentation grossière de la forme de chaque coupe, et par conséquent de la forme de l'objet..

Par contre, si l'on veut obtenir une représentation très fidèle de l'objet, il faut retenir un grand nombre de points sur chaque coupe. Mais dans ce cas la base de données est très grande.

Le choix de nombre de points retenus sur chaque coupe de l'objet à reconstruire résulte d'un compromis entre la nécessité de rendre la forme de l'objet la plus fidèle possible et le souhait de disposer d'une base de données de taille raisonnable.

Nous avons mis en oeuvre une méthode d'échantillonnage basée sur un critère objectif qui permet d'éliminer le plus grand nombre possible de points de la base de données tout en respectant la forme fidèle de l'objet.

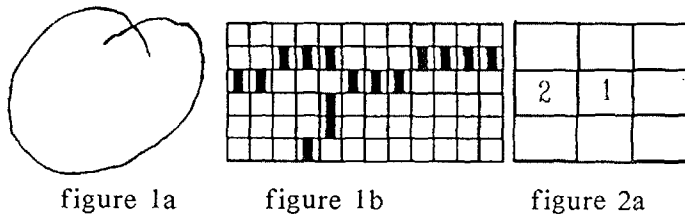
L'algorithme mis au point offre l'avantage d'une part, de justifier la nature des points retenus de chaque coupe par un contrôle sur l'écart entre la surface initiale de la coupe et la surface reconstruite, d'autre part, de bien s'adapter à une implémentation dans une architecture matérielle que nous décrivons. Nous présentons à l'aide d'une simulation, les résultats de l'application de cet algorithme sur



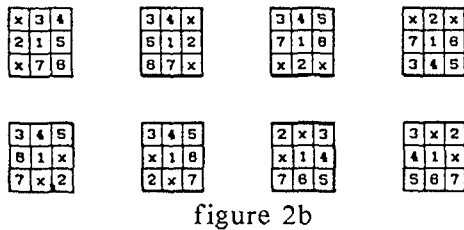
diverses formes de contours tests et de reconstruction 3D en rendu réaliste associée.

PREPARATION DES CONTOURS POUR L'OPERATION D'ECHANTILLONNAGE

Après l'opération de segmentation, le contour présente des imperfections qui peuvent être par exemple des coupures, des épaisissements ou des branches pendantes. Les coupures et épaisissements peuvent, dans la plupart des cas, être éliminés à l'aide des opérateurs morphologiques classiques tels que érosion, dilatation, squelettisation. Pour éliminer les branches pendantes, nous avons mis au point un ensemble de masques qui définit un opérateur d'ébarbage. Les branches pendantes se présentent comme indiqué ci-dessous (figure 1a) et localement comme indiqué figure 1b.



Le principe d'élimination des branches pendantes consiste pour un environnement 3x3, dans lequel le contour se présente sous la forme de deux pixels allumés consécutifs (pixels 1 et 2) entourés de pixels éteints (figure 2a) à éteindre le pixel situé à la périphérie (pixel 2 éteint).



Cette opération est réalisée à l'aide de l'ensemble des masques représenté figure 2b. Elle satisfait la relation :

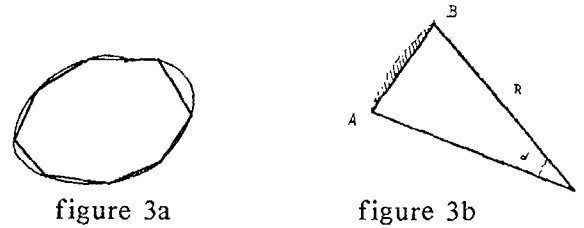
Si :
$$S = 1.2.(3+4+5+6+7) \quad (1)$$

alors :
$$2 = \text{forcé à zéro}$$

A la fin de cette étape le contour fermé se présente comme la juxtaposition de pixels allumés d'épaisseur un pixel.

EXPOSE DU PRINCIPE DE L'ECHANTILLONNAGE DES COUPES.

La méthode est adaptée au cas de la reconstruction par triangulation où la courbe de chaque coupe est approximée par un polygone composé des segments de droites qui relient les points échantillonnés deux à deux (figure 3a).



On suppose (figure 3b) que les deux points A et B sont deux points retenus du contour échantillonné. On fait l'hypothèse qu'entre ces deux points, s'ils sont suffisamment rapprochés, le contour est pratiquement confondu à un arc de cercle de rayon R appartenant à un secteur d'angle α .

Le segment AB qui relie les deux points A et B forme avec l'arc AB une surface S qui représente l'erreur absolue sur la surface du contour due à l'échantillonnage. L'erreur ϵ est donnée par la relation :

$$\epsilon = \frac{\text{surface réelle} - \text{surface approximée}}{\text{surface réelle}} \quad (2)$$

d'où

$$\epsilon = 1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad (3)$$

si α est petit, le développement de $\sin \alpha$ à l'ordre 2 permet d'écrire :

$$\epsilon = \frac{\alpha^2}{3!} + \gamma(\alpha) \quad (4)$$

$\gamma(\alpha)$ représente l'erreur due à l'approximation l'angle α qui donne une erreur relative de 1 % sur ϵ est égal à $\pi / 13$. Si l'on choisit un angle de $\alpha = \pi / 16$, $\gamma(\alpha)$ est égal à $2,11 \cdot 10^{-4}$. On peut donc affirmer que pour toute erreur relative ϵ inférieure à 1 % sur la surface S entre la courbe de chaque coupe et son approximée par un polygone dont les sommets sont les points échantillonnés, l'angle α du vecteur formé par deux points échantillonnés et le centre de coordonnée O est donné par la relation :

$$\alpha = K \sqrt{\epsilon} \quad \text{avec } K = \sqrt{6} \quad (5)$$

Un angle α égal $\pi / 16$ satisfait ces conditions.

Si on examine deux secteurs adjacents définis par les points A, B, D, supposés être des points échantillonnés (figure 4a) les tangentes aux points A, B et D forment entre elles un angle égal à α . Il en résulte que pour échantillonner la courbe fermée d'une coupe on ne retient que les points où la tangente à la courbe est perpendiculaire à un axe pouvant prendre n directions faisant un angle α entre elles (figure 4b).

Cette méthode offre l'avantage de définir la courbe formée par des points rapprochés dans les régions à rayon de courbure faible et plus éloignés dans les régions à grand rayon de courbure.

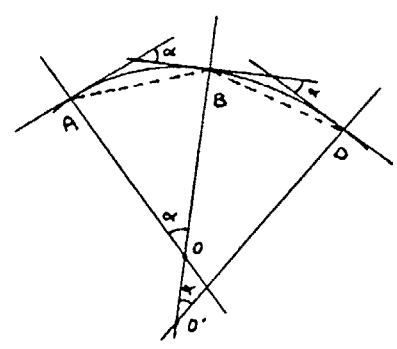


figure 4a

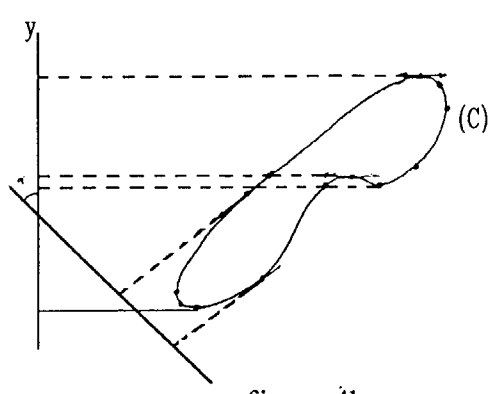


figure 4b

Soient dans un environnement 3x3 trois points B, A, C consécutifs appartenant à la courbe (C). Il existe 6 positions possibles de ces trois points pour lesquelles la courbe est tangente en A à une direction horizontale. Ces 6 positions sont représentées figure 5.

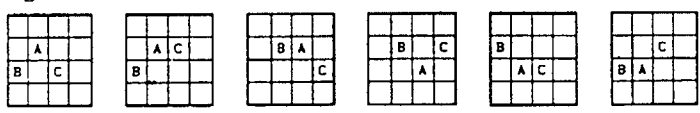


figure 5

Dans l'environnement 3x3, soient x_i, y_i les coordonnées du point $i \in \{B, A, C\}$, le point A est échantillonné si les ordonnées des points B, A et C satisfont les conditions suivantes :

$$\begin{aligned}
 & (y_A - y_B < 0 \text{ et } y_A - y_C \geq 0) \\
 & (y_A - y_B \leq 0 \text{ et } y_A - y_C > 0) \\
 & (y_A - y_B \geq 0 \text{ et } y_A - y_C < 0) \\
 & (y_A - y_B > 0 \text{ et } y_A - y_C \leq 0)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Il existe également 6 positions possibles de 3 points B, A, C, $\varepsilon(C)$ pour lesquelles (C) est tangente en A à une direction verticale. Ces 6 positions sont celles de la figure 5 qui ont subi une rotation de $\pi/2$.

Le point A est échantillonné si les abscisses des points B, A, C satisfont les conditions (6) où l'ordonnée y_i du point i est remplacée par son abscisse x_i .

L'efficacité de cet algorithme est indépendante de la forme de la courbe à traiter (convexe ou concave).

ARCHITECTURE D'ÉCHANTILLONNAGE DE POINTS.

Le principe de fonctionnement est exposé en tenant compte des conditions des relations (6) sur les

ordonnées (tangentes horizontales). Les points de la courbe (C) sont matérialisés en mémoire M1 et M'1 respectivement par les valeurs de leurs ordonnées et de leurs abscisses rangées successivement, en commençant par les coordonnées d'un point quelconque de (C) et en tournant sur (C) dans le sens direct.

La recherche des points de contact avec une direction donnée consiste à pratiquer une rotation de (C) d'un angle $k\alpha = k\pi/M$ (M est égal au nombre de directions des tangentes) et pour chaque triplet B,A,C de points successifs de (C), à ne retenir le point A comme appartenant au contour échantillonné que si les relations (6) sont vérifiées.

Le schéma de principe du processeur est donné figure 6.

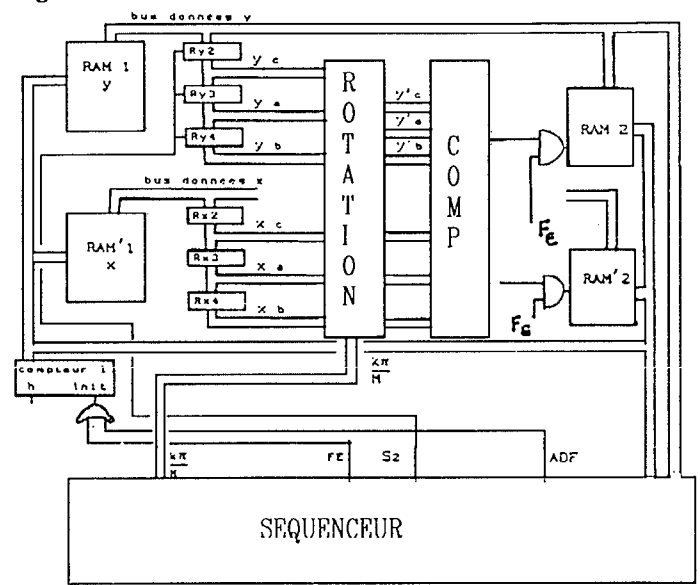


figure 6

Pour une valeur de $k : (k\alpha = k\pi/M)$, le processeur isole les coordonnées des trois points consécutifs B,A,C $\varepsilon(C)$ dans deux registres à décalage R1 et R'1. Un opérateur de rotation effectue l'opération (7) simultanément sur les 3 points B,A,C

$$y'_i = x_i \sin \frac{k\pi}{M} + y_i \cos \frac{k\pi}{M} \quad (7) \quad i \in \{B, A, C\}$$

Le schéma de principe de l'opérateur de rotation est celui de la figure 7.

Un comparateur exécute (figure 8) les tests définis par les relations (6) effectuées sur les ordonnées y'_A, y'_B, y'_C . Si les relations (6) sont vérifiées pour un triplet, l'ordonnée y_A est mémorisée dans la mémoire résultat M2. Sinon, le processeur exécute le décalage du triplet B,A,C d'une position dans le registre à décalage R1 (B prend la place de A, A prend la place de C et des nouvelles coordonnées prennent la place de B). Après le balayage complet de (C), le paramètre k est incrémenté et l'opération recommence.

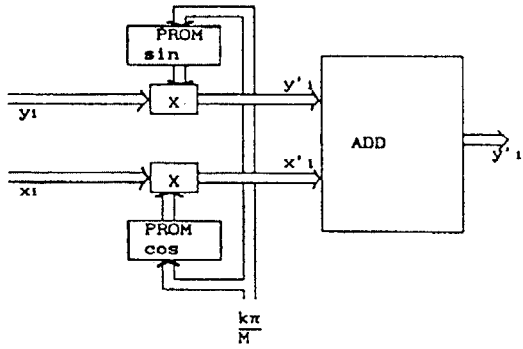


figure 7



figure 11a

figure 11b

CONCLUSION

Le processeur de l'architecture que nous venons de décrire nécessite 6 registres verrous sur 16 bits 12 multiplieurs 8x16 résultats sur 16 bits, 10 additionneurs, 4 comparateurs 16 bits. L'unité de commande nécessite 1 additionneur, 2 registres verrous sur 16 bits, 3 comparateurs. L'ensemble est séquencé par un compteur de capacité de l'ordre de 2k états.

On peut estimer qu'une multiplication dure 80 ns, une addition 40 ns, un transfert 20 ns et un adressage de RAM demande 100 ns. Il en résulte que le calcul de l'échantillonnage nécessitera 200 ns par point du contour (C). Pour un objet composé de 16 coupes contenant chacune en moyenne 600 points, la durée totale d'échantillonnage exécutée suivant 8 rotations peut être estimée à 20 ms.

Pour des contours contenant chacun 600 à 1000 points, cette technique d'échantillonnage réduit le nombre de points de description du contour dans un rapport de l'ordre de 10.

BIBLIOGRAPHIE

ROBERGE JAMES

A data reduction algorithm for planar curves CVGIP, 29, 2, Feb. 1985 pp.168-195

J. SERRA

Image analysis and mathematical morphology Academic Press, 1982

J.D. BOISSONNAT

Representation of objects by triangulating points in 3D space

IEEE : 6th international conference on Pattern recognition, Munich, Germany, oct. 19-22, 1982, pp. 830-832

DIPPE M. SWENSEN J.

An adaptative subdivision algorithm and parallel architecture for realistic image synthesis SIGGRAPH'84, Vol. 18, N° 3, pp. 149-158.

EKOULE A., PEYRIN F., ODET C.

Description d'un procédure de triangulation entièrement automatique.

IEEE proceeding, pp. 88-95, Paris, 1987.

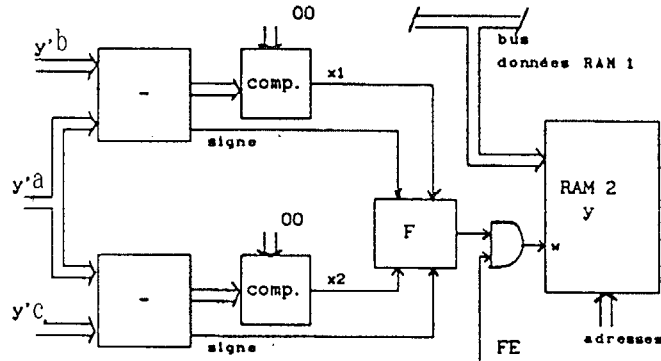


figure 8

L'expression de la fonction F est obtenue à partir de la table de vérité relative aux variables x_1, x_2, s_1, s_2 qui traduit les conditions (6).

On remarque qu'à la fin de toutes les opérations (pour les 16 directions) la mémoire M2 ne contient que les coordonnées des points échantillonnés. Ces coordonnées sont situées exactement aux mêmes adresses que dans la mémoire M1.

Un séquenceur rythme les diverses opérations (figure 9).

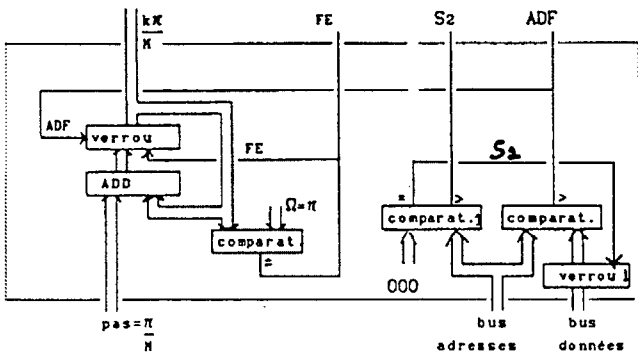


figure 9

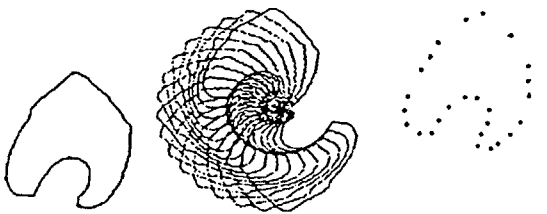


figure 10 a

figure 10b

figure 10c

RESULTATS

La figure 10a représente un exemple du contour d'une coupe. Ce contour est dessiné, sur la figure 10b, dans ses 16 positions distinctes. L'ensemble des points de tangence de chacune de ces 16 positions