

Réparation de maillages 3D: remplissage de trous

Stefka GUEORGUIEVA

`stefka.gueorguieva@labri.fr`

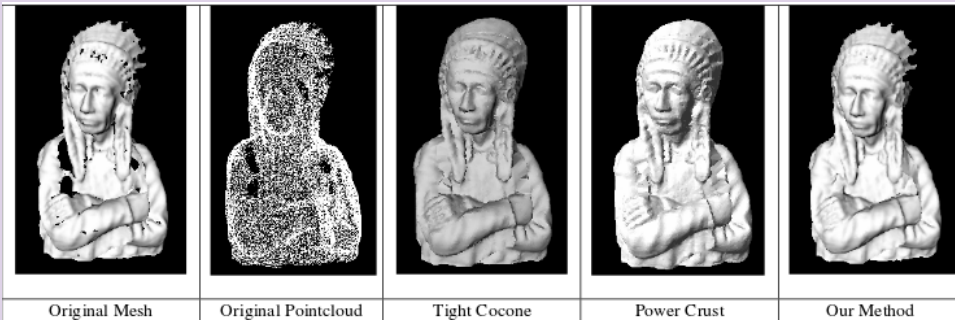
Plan

- 1 Motivation
- 2 Maillages "étanches" ("watertight mesh")
- 3 Réparation de maillages : remplissage de trous

Génération de maillages

Rui Liu et al., "On the way to water-tight mesh", ISPRS, 2007

Fig.1



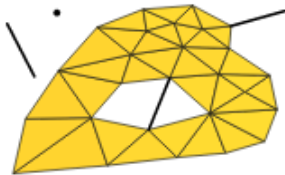
Maillages 3D : défauts

Marco Attene et al., "Polygon Mesh Repairing : An Application Perspective", ACM Comput.Surveys, 2013

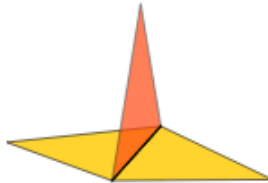
[Practical guide](#)

[Application perspective](#)

fig.1



Isolated & Dangling Elements



Singular Edge

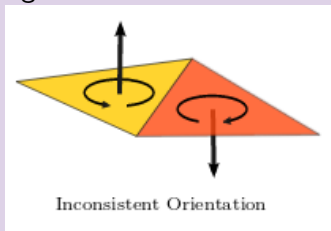


Singular Vertex

Maillages 3D : défauts

[M.Attene et al., 2013]

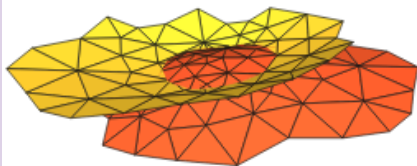
fig.1



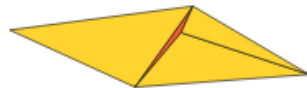
Maillages 3D : défauts

[M.Attene et al., 2013]

fig.1



(Self-)Intersection



(Near) Degeneracy

Maillages 3D : défauts

[M.Attene et al., 2013]

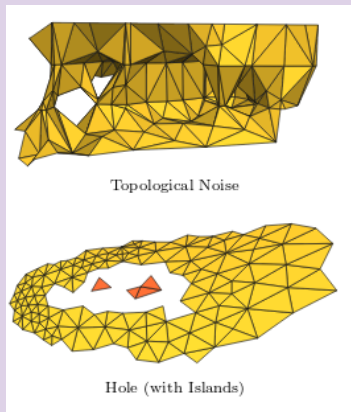


fig.1

Réparation de maillages

Approche proposée par [Liu07]

① Prétraitement

- ① Segmentation : identification des composantes connexes et des coquilles singulières
- ② Filtrage : suppression des coquilles singulières, des faces et des arêtes d'orientation non-cohérente
- ③ Détection de trous : traçage des contours

② Remplissage des trous complexes

③ Post-traitement : subdivision et lissage

Détection de trous

Traçage des bords



a) Original mesh



b) Detected holes

Figure 5. Detection of Holes

Remplissage de trous

function $rmpl_{trou3Dcplx}(S : vertex, C : loop) : void$

- ❶ Construction d'un plan P défini par les sommets S , $S- \rightarrow prev$ et $S- \rightarrow next$
- ❷ En commençant par S , tracer les sommets consécutifs de C dans la direction de $S- \rightarrow prev$ jusqu'au sommet a , le premier sommet n'appartenant pas au plan P
- ❸ En commençant par S , tracer les sommets consécutifs de C dans la direction de $S- \rightarrow next$ jusqu'au sommet b , le premier sommet n'appartenant pas au plan P
- ❹ Construire une arête E , $E = \overrightarrow{b- \rightarrow prev, a- \rightarrow next}$
- ❺ Trianguler le contour 2D ainsi obtenu par l'écrêtage d'arêtes ("ear-clipping") $rmpl_{trou2D}()$
- ❻ $S = b$, goto 1 jusqu'à ce que l'ensemble de sommets de C soit traité.

Remplissage de trous

```
void rmpltrou3Dcmplx(Vertex : S, Loop : C); [Liu07]
```

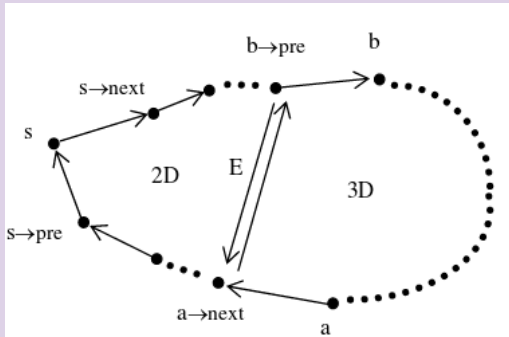
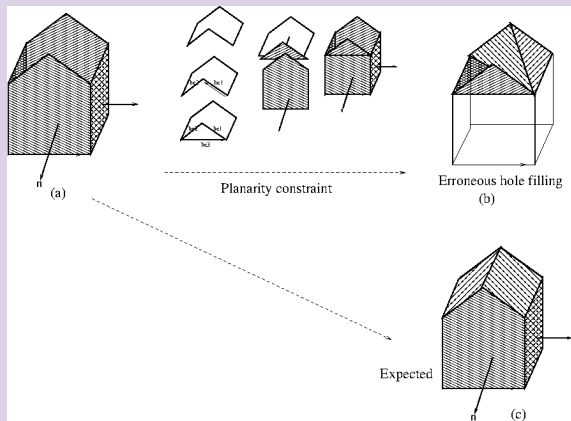


Figure 7. Recursive filling of complex 3D-holes

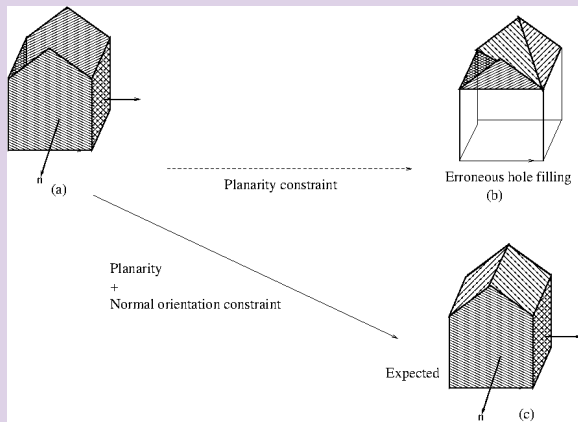
Remplissage de trous complexes

Limites de l'approche de [Liu07]



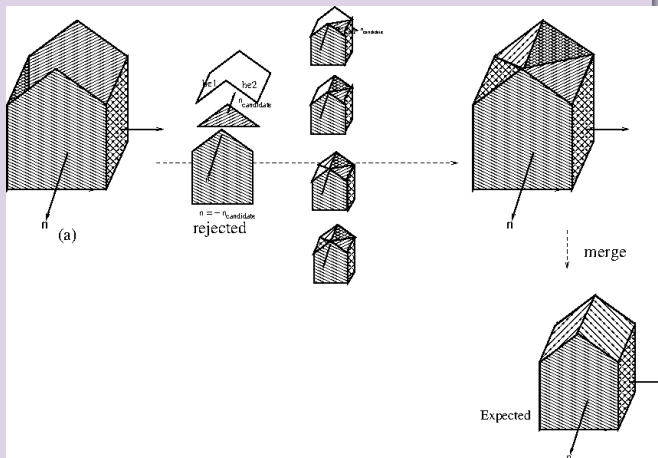
Remplissage de trous complexes

Contrôle de la planarité et de l'orientation des normales



Remplissage de trous complexes

Contrôle de la planarité et de l'orientation des normales



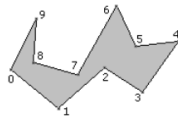
Écrêtage des arêtes ("ear clipping")

Geometric tools

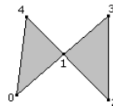
Geometric tools

D. Eberly

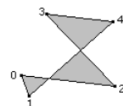
Polygone simple versus polygone complexe



simple



nonsimple



nonsimple

Écrêtage des arêtes ("ear clipping")

"Triangulation by ear clipping" D. Eberly

Soit une suite de sommets, $\{V_i\}_{i=0}^{n-1}$, les sommets consécutifs sont reliés avec des arêtes et l'arête (V_{n-1}, V_0) relie le premier et le dernier sommet.

Le polygone est dit **simple** ssi chaque sommet est commun à exactement deux arêtes et deux à deux les arêtes sont soit disjointes soit s'intersectent dans un sommet commun.

Une "oreille de polygone" est définie comme le triplet (V_{i0}, V_{i1}, V_{i2}) tq le sommet V_{i1} est convexe, le segment (V_{i0}, V_{i2}) appartient à l'intérieur du polygone et le triangle formé par ces sommets ne contient aucun autre sommet du polygone.

Ear clipping

Input : Face f_T , $f_T \in T$, T the triangle mesh

Output: $\{f_T^j\}_{j=0}^n$

begin

Let $L_{ear-tips} = []$;

for $\forall V_i \in \partial f_T$ **do**

if (V_{i-1}, V_i, V_{i+1}) is an ear tip **then**

$L_{ear-tips} += (V_{i-1}, V_i, V_{i+1})$;

end

end

while $L_{ear-tips} \neq []$ **do**

$(V_{i-1}, V_i, V_{i+1}) \rightarrow f_T^j$;

 delete (V_{i-1}, V_i, V_{i+1}) ;

if $(V_{i-2}, V_{i-1}, V_{i+1})$ is an ear tip **then**

$L_{ear-tips} += (V_{i-2}, V_{i-1}, V_{i+1})$;

end

if $(V_{i-1}, V_{i+1}, V_{i+2})$ is an ear tip **then**

$L_{ear-tips} += (V_{i-1}, V_{i+1}, V_{i+2})$;

end

end

end

Choix de sommet d'écêrages

Choix de sommets d'écêrages

- 1 L'analyse de la complexité [Rourke98]
- 2 L'angle minimal [Bohn92,Hu12] : choisir une oreille V_j tq $\angle(V_{j-1}, V_j, V_{j+1})$ est le plus petit
- 3 L'angle défini par une contrainte de caractéristique de forme [Schilling08]
- 4 L'angle, la longueur de l'arête et la taille du voisinage [Varnuska05]
- 5 Le poids optimal [Liepa03], coefficient proportionnel à l'aire de triangle $\triangle = (V_{j-1}, V_j, V_{j+1})$
- 6 La courbure optimale [Pernot06] , minimiser la variation de la courbure dans un voisinage de V_j

Choix de sommet d'écêrages

Choix de sommets d'écêrages [Varnuska05]

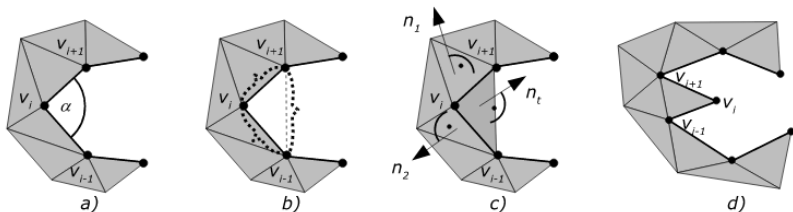


FIG. 3.4. The ear $v_{i-1}v_iv_{i+1}$ evaluation, a) the smallest angle, α is the angle between the vector $v_{i-1} - v_i$ and the vector $v_{i+1} - v_i$, b) the smallest length of the edges, the variables d_1, d_2 and d_3 are the lengths, c) the smallest angle between neighbours, n_1 is the normal vector of the triangle with the edge v_{i+1}, v_i , n_2 is the normal vector of the triangle with the edge v_{i-1}, v_i , n_t is the normal vector of the ear, d) an invalid ear.

Traçage des contours

Cas de géométrie singulière [Varnuska05]

Varnuska, M. et al.

"Simple holes triangulation in surface reconstruction",
Algorithmy, 2005

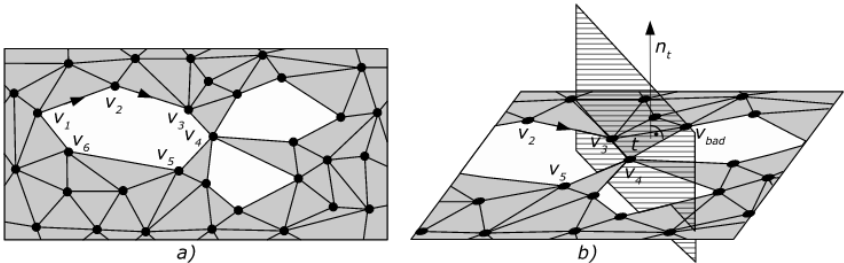
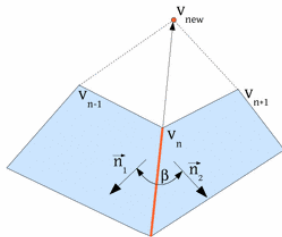


FIG. 3.1. *Holes tracing, a) the vertices $v_1v_2v_3v_4v_5v_6$ represent the hole, the vertex v_4 is problematic, b) the plane created using the edge v_3v_4 and a triangle t (with normal n_t) coincident to the edge, the vertex v_{bad} is the vertex with the smallest angle to the edge v_3v_4 .*

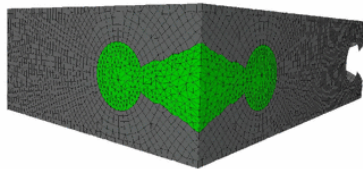
Choix de traçage des contours

Critère de traçage : la topologie par rapport à la géométrie[Schilling08]

Schilling,A. "Filling arbitrary holes in Finite Element Models"
Proc. of 17th International Meshing Roundtable, 2008



(a) Placement of a new node along a feature edge (red).

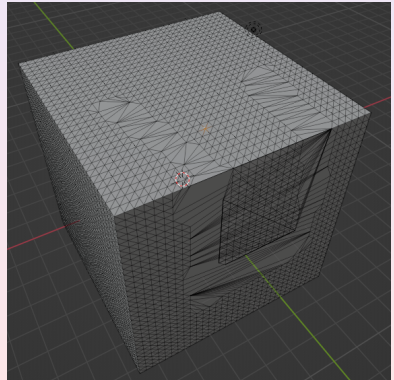
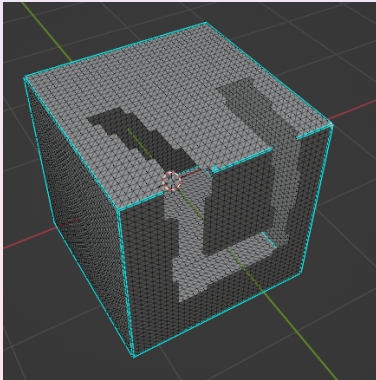


(b) Completely recovered feature at the missing edge of a box.

Fig. 7. Handling of feature lines during vertex insertion

Choix de traçage des contours

Critère de traçage : la topologie par rapport à la géométrie
[C.Lanterne,2020]



Choix de traçage des contours

Critère des traçage : la topologie par rapport à la sémantique [Schilling08]

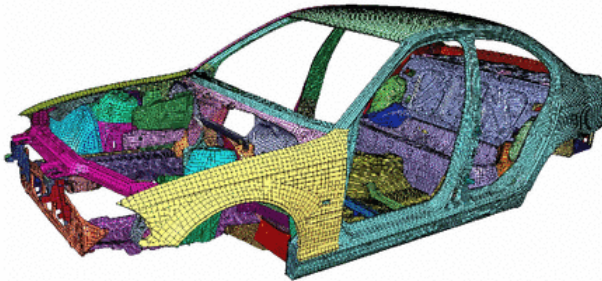


Fig. 1. FE models generally consist of many independently meshed parts that provide arbitrary holes due to unmodelled parts as well as constructive cut-outs

Post-traitements : contrôle de la qualité du maillage

Bohn, J.H. and Wozny, M.J., "Automatic CAD-model Repair : Shell-Closure", SFFS, 1992

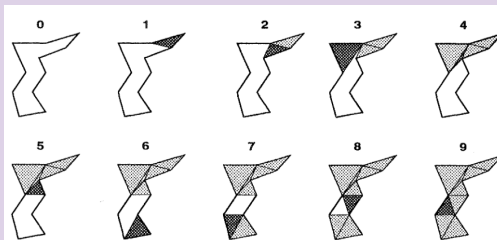


Figure 5.1 Lid-creation by iterative removal of the vertex with the smallest angle.

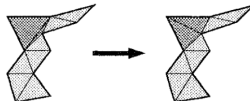


Figure 5.2 Iterative post-processing to improve the quality of the lid-surface.

Expérimentation

Travaux pratiques

Analyse et réparation de maillages 3D