Jumeau numérique d'un objet 3D et de ses lignes surfaciques

Journées de rencontre de la Graduate Initiative EIF

Nora Malleton (ECL)
stage encadré par Raphaëlle Chaine (LIRIS)

12 juillet 2024

Table des matières

1 Jumeau numérique

2 Bases de la triangulation

3 Convection géométrique

4 Réseaux de neurones pour traiter un nuage

5 Base de données de courbes

Table des matières

1 Jumeau numérique

2 Bases de la triangulation

3 Convection géométrique

4 Réseaux de neurones pour traiter un nuage

5 Base de données de courbes

Pourquoi un jumeau numérique ?

Utilités d'un jumeau numérique :

- Reconstruction d'environnement (réalité augmentée)
- Conservation / restauration d'oeuvres d'art
- ...

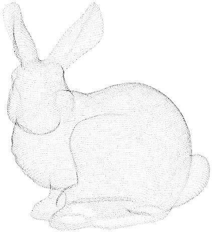
Il existe différents types de jumeaux numériques selon les propriétés à refléter (forme, couleur, propriétés physiques, etc ...)

On s'intéresse ici à la reconstruction d'une surface ainsi que des lignes plongées dans celle-ci (refléter la forme)

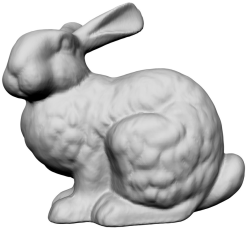
Obtention du jumeau numérique : scanners

- Nuage de points à partir d'un scanner laser
- Ensemble de points : (x, y, z)

(a) Objet réel



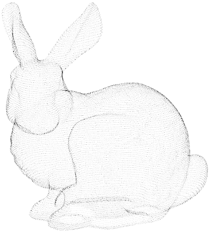
(b) Nuage de points



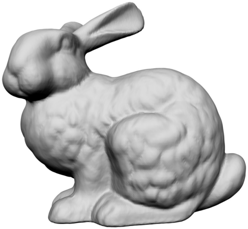
(c) Jumeau numérique

Reconstruction du jumeau à partir d'un nuage de points

Comment reconstruire un maillage à partir d'un nuage de points ?



(a) Nuage de points



(b) « Bonne » reconstruction

(c) « Mauvaise » reconstruction

Différentes méthodes de reconstruction du jumeau

« Qualités d'une reconstruction »

Pas de notion absolue de « bonne reconstruction » mais des propriétés vérifiées ou non du maillage (variété, passe par tous les points, troué, . . .)

Algorithmes de reconstruction

- Ball-Pivoting [Ber+99]
- Crust [ABE97]
- Convection géométrique [Cha03]

Il existe de nombreux autres algorithmes [CG04 ; Hua+22]

Table des matières

1 Jumeau numérique

2 Bases de la triangulation

3 Convection géométrique

4 Réseaux de neurones pour traiter un nuage

5 Base de données de courbes

Triangulation de Delaunay

Triangulation de Delaunay : triangulation de l'enveloppe convexe d'un ensemble de points (valable en n'importe quelle dimension)

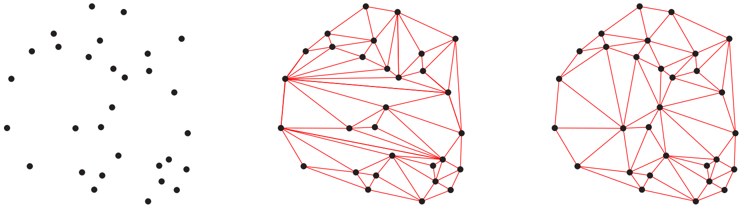


Figure – Triangulations d'un même nuage

- Maximisation des angles des triangles
- Cercles circonscrits vides

Table des matières

1 Jumeau numérique

2 Bases de la triangulation

3 Convection géométrique

4 Réseaux de neurones pour traiter un nuage

5 Base de données de courbes

L'algorithme de convection géométrique

Convection géométrique [Cha03] basée sur la convection d'une surface vers un ensemble de points [ZOF01], mais équivalence avec la procédure suivante :

- Précalculer la triangulation de Delaunay
- Créer une surface (initialement l'enveloppe convexe)
- « Creuser » cette surface selon un critère (critère de Gabriel, demi-boule associée vide)

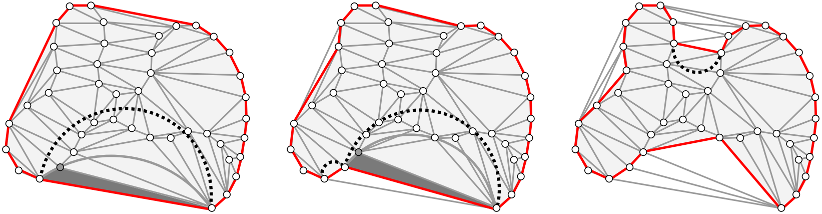


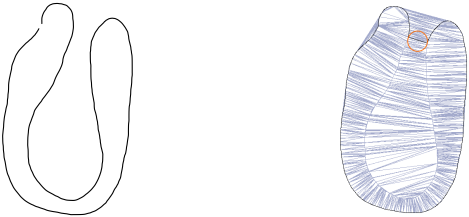
Figure – Progression de l'algorithme de convection

Cas limites de la convection (2D)

Convection : algorithme performant (rapidité, qualité des résultats) moyennant l'utilisation d'une heuristique locale

Quelques complications :

- Poches : la convection s'arrête de creuser trop tôt
- Arêtes vives : la convection ne s'arrête pas



(a) Courbe à reconstruire (b) Courbe reconstruite

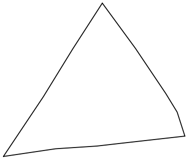
Figure – Exemple de poche

Cas limites de la convection (2D)

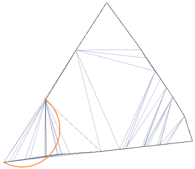
Convection : algorithme performant (rapidité, qualité des résultats) moyennant l'utilisation d'une heuristique locale

Quelques complications :

- Poches : la convection s'arrête de creuser trop tôt
- Arêtes vives : la convection ne s'arrête pas



(a) Courbe à reconstruire



(b) Courbe reconstruite

Figure – Exemple d'arête vive

Cas limites de la convection (3D)

Exemples de poches en 3D :

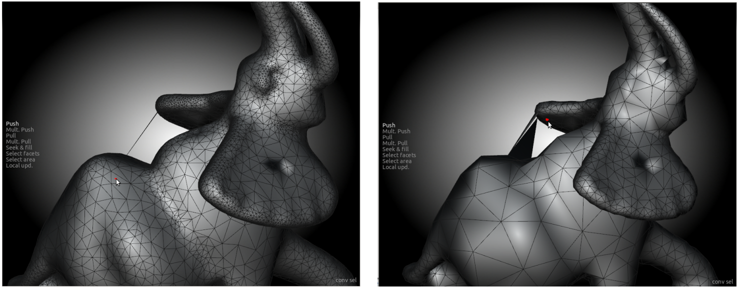
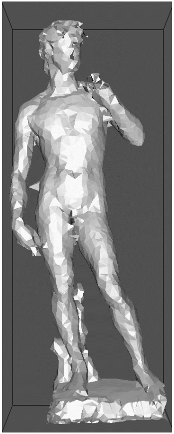


Figure – Comparaison de la convection du même modèle en fonction de la densité de points

Cas limites de la convection (3D)

Exemples de poches en 3D :



(a) Surface reconstruite avec un faible échantillonage

(b) Surface reconstruite avec un échantillonage dense

Comment améliorer la convection ?

Comment améliorer la convection ?
Heuristiques locales existantes, mais apprentissage par l'exemple (supervisé) ici
Entraînement d'un réseau de neurones pour être un oracle avec les décisions :

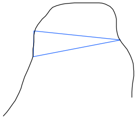
- Suivre la convection et creuser (C)
- Suivre la convection et ne pas creuser (NC)
- Creuser malgré la convection (poche) (P)
- S'arrêter malgré la convection (arête vive) (AV)

Comment améliorer la convection avec l'apprentissage ?

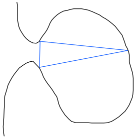
Le réseau souhaité :

Comment améliorer la convection avec l'apprentissage ?

Les seules coordonnées ne sont pas suffisantes pour faire une bonne décision :



(a) Cas où il ne faut pas creuser



(b) Cas où il faut creuser

Les points doivent avoir « conscience » de la forme globale pour savoir s'il faut s'ouvrir ou non

Table des matières

1 Jumeau numérique

2 Bases de la triangulation

3 Convection géométrique

4 Réseaux de neurones pour traiter un nuage

5 Base de données de courbes

Comment traiter un nuage de points avec un réseau de neurones ?

Réseaux de neurones souvent conçus pour des images
Différences intrinsèques entre un nuage de points et une image :

- Invariance par transformation rigide (translations, rotations)
- Invariance par permutation des points du nuage

Un réseau doit être invariant par ces propriétés pour pouvoir traiter un nuage [Qi+16]

PointNet

PointNet [Qi+16] permet de segmenter des nuages de points en plongeant un nuage dans un espace ou chaque point a « conscience de son environnement » :

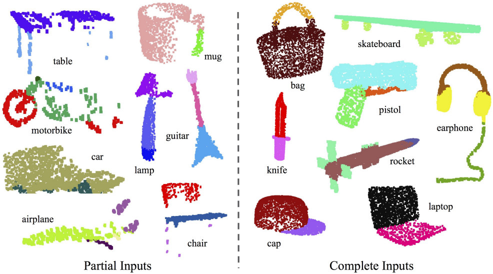


Figure – Résultats de PointNet en segmentation

PointNet

PointNet [Qi+16] permet de segmenter des nuages de points en plongeant un nuage dans un espace ou chaque point a « conscience de son environnement » :

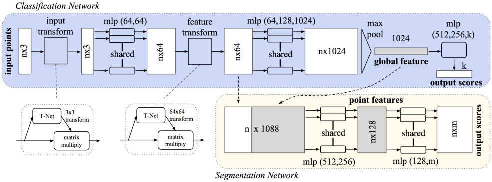


Figure – Architecture de PointNet

PCPNet

PCPNet [Gue+18] : Adaptation de PointNet pour les features locales (normale, courbure)

Donner une « intuition de la localité » à PointNet : travailler avec des patchs locaux

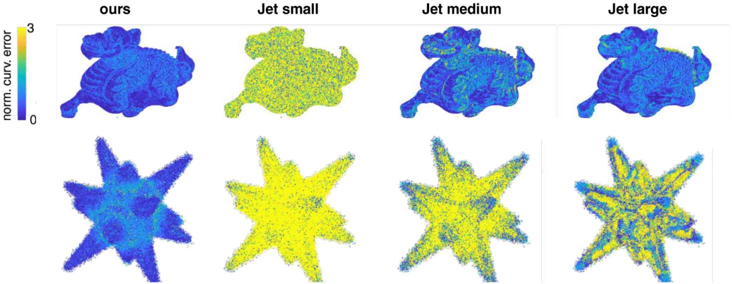


Figure – Résultats de PCPNet pour l'estimation de normales

PCPNet

PCPNet [Gue+18] : Adaptation de PointNet pour les features locales (normale, courbure)
Donner une « intuition de la localité » à PointNet : travailler avec des patchs locaux

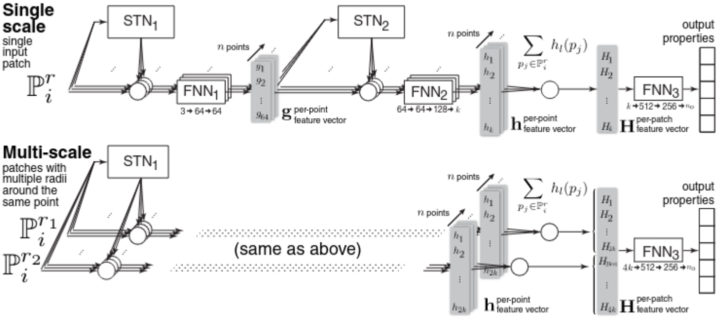


Figure – Architecture de PCPNet

Table des matières

1 Jumeau numérique

2 Bases de la triangulation

3 Convection géométrique

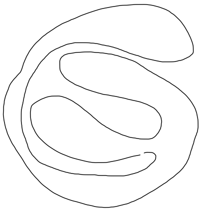
4 Réseaux de neurones pour traiter un nuage

5 Base de données de courbes

Construction d'une base de données de courbes

Base de données pour entraîner les réseaux de neurones

- Plusieurs courbes « de référence » dessinées à la main
- Pour chaque courbe : échantillonnage aléatoire des points et rotation aléatoire
- Intérêt de la 2D : plus simple de produire des données



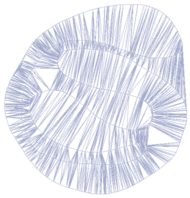


Figure – Courbes de la base de données

Construction d'une base de données de courbes

Base de données pour entraîner les réseaux de neurones

- Plusieurs courbes « de référence » dessinées à la main
- Pour chaque courbe : échantillonnage aléatoire des points et rotation aléatoire
- Intérêt de la 2D : plus simple de produire des données

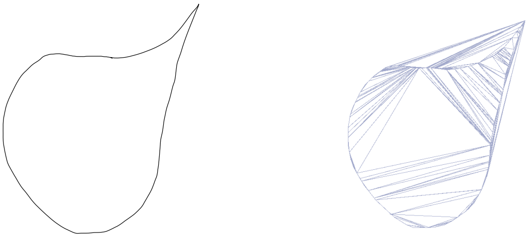


Figure – Courbes de la base de données

La suite

- Compléter la base de données de formes
- Designer précisément le réseau qui utilisera cette base de données (architecture exacte, fonction d'erreur, ...)
- Entraîner le réseau sur la base de données et voir s'il est possible d'améliorer l'algorithme de convection
- Passer en 3D

Remerciements

- Graduate Initiative
- École Centrale de Lyon
- LIRIS
- Raphaëlle Chaine

Références I

[ABE97] Nina Amenta, Marshall Bern et David Eppstein. « The Crust and the Beta-Skeleton : Combinatorial Curve Reconstruction ». In : *Graphical Models and Image Processing* (1997).

[Ber+99] Fausto Bernardini et al. « The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction ». In : *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (1999).

[CG04] Frédéric Cazals et Joachim Giesen. *Delaunay Triangulation Based Surface Reconstruction : Ideas and Algorithms*. Rapp. tech. RR-5393. INRIA, nov. 2004, p. 42. URL : https://inria.hal.science/inria-00070610.

Références II

[Cha03] Raphaëlle CHAINE. « A geometric convection approach of 3D resonstruction ». In : *Eurographics Symposium on Geometry Processing* (2003), p. 218-229.

[Gue+18] Paul GUERRERO et al. « PCPNet : Learning Local Shape Properties from Raw Point Clouds ». In : *Computer Graphics Forum* (mai 2018), p. 75-85.

[Hua+22] Zhangjin HUANG et al. « Surface Reconstruction from Point Clouds : A Survey and a Benchmark ». In : (2022).

[Qi+16] Charles R QI et al. « PointNet : Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation ». In : (2016).

Références III

[ZOF01] Hong-Kai Zhao, Stanley Osher et Ronald Fedkiw. « Fast Surface Reconstruction Using the Level Set Method ». In : *Proceedings of IEEE Workshop on Variational and Level Set Methods in Computer Vision (VLSM)* (2001).

Comment construire un réseau invariant par permutation et transformation rigide ?

Invariance par transformation rigide : alignement du nuage de points avec un réseau (T-Net)
Plusieurs possibilités pour l'invariance par permutation de points :

- Prétrier les points dans un ordre canonique
- Donner chaque nuage de points plusieurs fois
- Utiliser des fonctions symétriques

Concevoir un réseau invariant par permutation

Fonction symétrique : $f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = f(x_{\pi(1)}, x_{\pi(2)}, \ldots, x_{\pi(n)})$
Si g est symétrique et f vérifie

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) := \gamma(g(h(x_1), h(x_2), \ldots, h(x_n)))$$

alors f est symétrique
Fonction g « de référence » : maxpool (maximum de chaque coordonnée)
Le réseau détermine γ et h pour approximer f