

Nuages de points et modélisation 3D

Modélisation et segmentation - Cours VI -

François GOULETTE

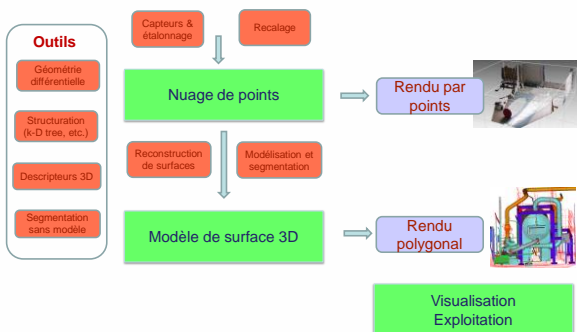


Contact : francois.goulette@mines-paristech.fr

Déroulement du cours

- 1/ Perception 3D ; capteurs et étalonnage (FG)
 - 2/ Recalage et consolidation (FG)
 - 3/ Description locale des courbes et surfaces (FG)
 - 4/ Rendu de nuages de points et maillages (TB)
 - 5/ Reconstruction de courbes et surfaces (JED)
 - 6/ Modélisation et segmentation (FG)
 - 7/ Apprent. profond et nuage de points 3D (JED)
- Séminaire de recherche
- Présentation des projets

Nuages de points et modélisation 3D Vue d'ensemble du cours



Sommaire

- 1/ Modélisation 3D « réaliste » ?
- 2/ Modélisation et segmentation automatiques à partir de nuages de points

1/ Modélisation 3D « réaliste » ?

- 1.1 Des modèles 3D pour quoi faire ?
- 1.2 Représentation des surfaces complexes
- 1.3 Modèles à partir de relevés laser
- 1.4 Evaluation de qualité

1.1 Des modèles 3D pour quoi faire ?

- Modèle 3D virtuel ou réaliste ?
 - Modèle virtuel : utile pour certaines applications (jeux video)
 - Modèle réaliste ? :
 - Fidèle à l'existant, permettant une exploitation des données modèles pour des applications réelles
 - Planification d'interventions, conception, concertation publique...

Villes numériques 3D



Image IGN

Urbanisme, architecture. Préparation de projets et concertation
Information du grand public (commerciale, etc.)

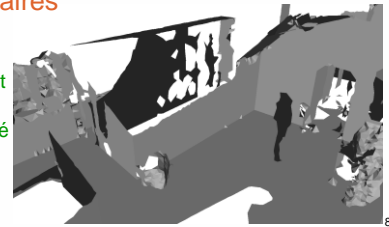
7

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Intérieurs de bâtiments

- Accès aux bâtiments publics (PMR)
- Préparation d'intervention (pompiers, etc.)
- Usages militaires

Intérieur de bâtiment
acquis par un robot
mobile puis modélisé
[Deschaut 2010]



8

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Environnements industriels

- Centrales électriques
- Exploration / production pétrolière offshore
- Production manufacturière



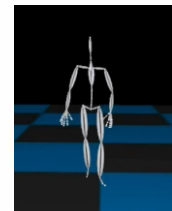
Simulation 3D d'intervention de maintenance
en Centrale Electrique (EDF) [Bey 2013]

9

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Capture de mouvement

- Kinect : détection des mouvements, calcul de squelette articulé [Arai 2013]



10

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

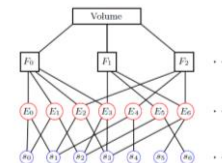
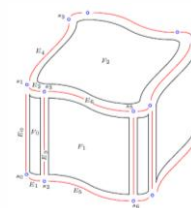
1.2 Représentation des surfaces complexes

- Représentation par combinaison de modèles simples : « CAO »
 - Modèle surfacique B-Rep
 - Modèle filaire (« modèle vectoriel »)
 - (Modèle volumique CSG : adapté aux volumes)
- ≠ surface libre
 - Au plus proche de la surface réelle
 - Reconstruction de surface

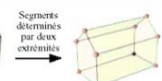
11

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Représentation B-Rep Boundary-Representation



[Bey 2013]



Objet défini par un ensemble de faces

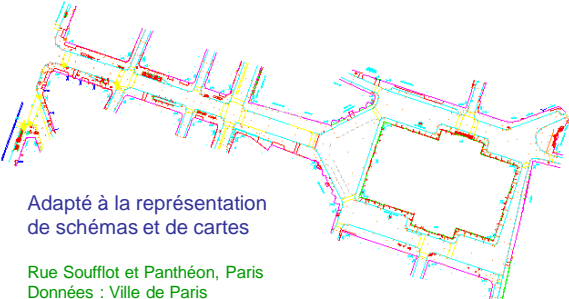
Faces délimitées par des segments

Segments déterminés par deux extrémités

12

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Représentation filaire (vectorielle)



Adapté à la représentation
de schémas et de cartes

Rue Soufflot et Panthéon, Paris
Données : Ville de Paris

13

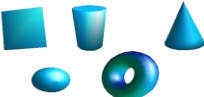
Centre de Robotique
Jocelyn Deschênes, Sébastien

Rue Soufflot et Panthéon, Paris
Données : Ville de Paris

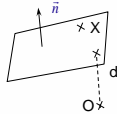
13

Éléments géométriques simples


- Plans, sphères, cylindres, tores, cônes...



- Plan : $n^t X = d$



- Sphère :

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 = R^2$$


14

Centre de Robotique
ICRI-UM-5050-5000

-

-
- A circle with center X and radius R .

4

-
- A diagram of a cylinder. A vertical dashed line represents the axis, with an upward-pointing arrow labeled z . A horizontal line segment from the axis to the cylinder's surface is labeled R .

-

-

15

Représentations « métier »

- Le choix d'un type de représentation dépend de l'application visée
 - Exemples :
 - Villes, environnements industriels, routes
- Modèles idéalisés / simplifiés vs. détection de défauts

16

Centre de Robotique

- 6

Modèles de villes

- Modèles par plans uniquement, première approximation
- « Niveaux de Détails » (Level Of Detail, LOD) – CityGML
 - Grand Lyon février 2015, ouverture Open Data de modèles CityGML



LOD 0 – Regional model

LOD 1 – City / Site model

- ▶ "block model" w/o roof structures

LOD 2 – City / Site model

- ▶ textured, differentiated roof structures

LOD 3 – City / Site model

- ▶ detailed architecture model

LOD 4 – Interior model

- ▶ "walkable" architecture models



Centre de Robotique


-

- ▶ "walkable" architecture model

Centre de Robotique

Modèles d'environnements industriels

- Différents métiers ; tuyauteries :
 - Règles métiers de jonction
 - Chaudronnerie ; mécanique des fluides
 - Représentation par cylindres, tores, cônes... :
 - Grammaire de formes



TE

Réducteur excentrique

Cône

Réducteur concentrique

Raccords de tuyaux
[Chaperon 2002]

18

Centre de Robotique
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

-
- A photograph of various stainless steel pipe fittings. From left to right, there is a large tee fitting, a 90-degree elbow fitting, a small reducer fitting, and a small cap fitting. Red arrows point to each of these fittings. A small circular gasket is also visible between the tee and the elbow. The background is a plain, light-colored surface.

Coude

Réducteur concentrique

8

Modèles de routes

- Courbes 2D :
 - Droites et cercles
 - Clothoïdes [Ammoun 2002]
 - Origine : rotation du volant constante à vitesse constante (confort de conduite, conception de la route)
- Modèles d'élévation :
 - Paraboles
 - Origine : accélération verticale constante (confort de conduite, conception de la route)

19

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RELEVÉ LASER

1.3 Modèles TQC à partir de relevés laser

- Objectif :
 - Construction de modèles 3D réalistes fidèles
 - Modèles « Tel Que Construit » (TQC) / As-Built
- Besoin :
 - Informations sur la réalité : plans, mesures, cotes, photos
 - Intérêt des nuages de points
 - Grande quantité de données, au plus proche de la réalité, dans un temps limité

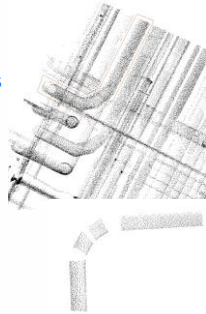


20

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RELEVÉ LASER

Segmentation de nuages de points

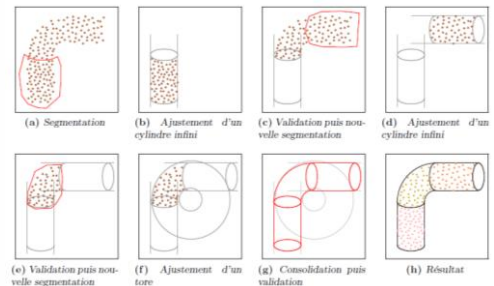
- Objectif :
 - Séparer le nuage de points en éléments simples
 - Pour la modélisation de surfaces ajustées
- Segmentation manuelle
 - Outils logiciels, boîtes englobantes...
 - Démo RealWorks



21

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RELEVÉ LASER

Modélisation de tuyauterie à partir de nuage de points

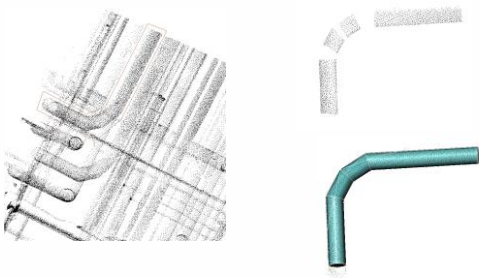


[Bey 2013]

22

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RELEVÉ LASER

Modélisation de tuyauterie à partir de nuage de points (2)

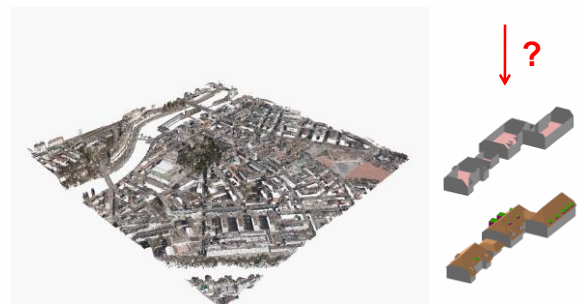


[Chaperon 2002]

23

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RELEVÉ LASER

Modélisation de bâtiments à partir de Lidar aérien



[SITG, Genève] - video

24

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RELEVÉ LASER

Logiciels dédiés métier de modélisation 3D

- Outils
 - Saisie d'information
 - Segmentation de zones d'intérêt
 - Modélisation par ajustement
 - Contraintes métiers
- Bâtiments :
 - Chaîne Bati3D (IGN)
- Environnements industriels :
 - RealWorks (MENSI Trimble), CloudWorks (Leica)

Centre de Robotique
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

25

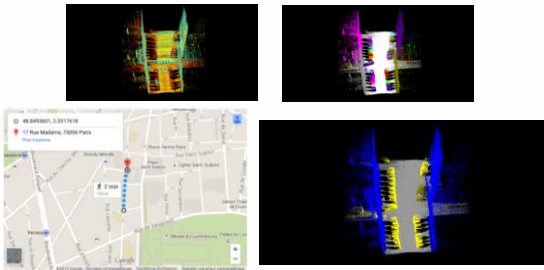
1.4 Evaluation de qualité

- Qualité d'une **segmentation**
 - Déterminée par comparaison avec une segmentation de référence :
 - « Vérité Terrain » (Ground Truth)
 - Différente d'une Vérité Terrain de modèle
- Critères d'évaluations :
 - Correct, sur-segmentation, sous-segmentation, raté, bruité
 - [Hoover 96(PAMI), Boulaassal 2010]

Centre de Robotique
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

26

Vérité terrain de segmentation / classification de données urbaines



<http://cmm.ensmp.fr/~serna/rueMadameDataset.html>

Centre de Robotique
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

27

Evaluation d'une modélisation

- Qualité d'un **modèle**
 - Déterminée par comparaison avec un modèle de référence, défini par un expert du domaine
 - « Vérité Terrain » (Ground Truth)
- Comment compare-t-on deux modèles ?
 - Comparaison qualitative
 - Comparaison quantitative ?

Centre de Robotique
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

28

Questions ouvertes

- Comparaison quantitative ?
 - Comparer deux cylindres...?
 - Comparaison entre des systèmes différents de représentation ?
 - B-Rep, CSG, vectoriel (filaire)...
- Comparaison entre modèles filaires :
 - Voir [Boulaassal 2010]

Centre de Robotique
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

29

Sommaire

1/ Modélisation 3D « réaliste » ?

2/ Modélisation et segmentation automatiques à partir de nuages de points

Centre de Robotique
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

30

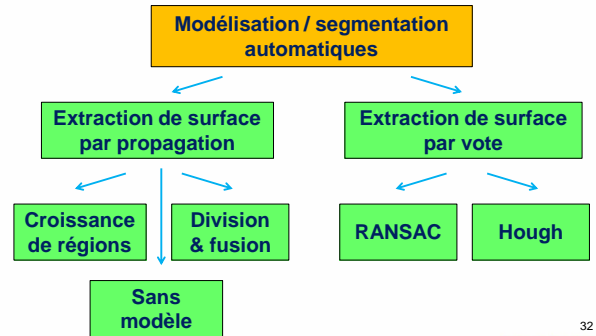
Besoins de segmentation automatique

- **Grandes quantités de données**
 - Générées par les systèmes de perception 3D
- **Temps de traitement important**
 - Le temps de modélisation/extraction devient supérieur au temps d'acquisition

31

Centre de Robotique
TUM - Institut für Robotik und KI

Classification des méthodes



32

Centre de Robotique
TUM - Institut für Robotik und KI

2.1 Segmentation sans modèle

- **Basée sur la connexité de points**
 - Extraction des composantes connexes
 - Méthodes de propagation
 - Méthodes de regroupement (*clustering*)
- **Selon certaines caractéristiques**
 - Continuité C^0
 - Normales C^1
 - Courbures, Centres de courbure
 - Autres caractéristiques : « saillance », etc.

33

Centre de Robotique
TUM - Institut für Robotik und KI

Segmentation sans modèle

Segmentation par les normales



[Chaine et al. 1999]

Fonction de "saillance" (surface, courbe, jonction)

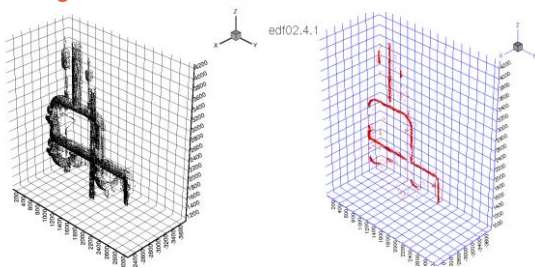


[Medioni et al. xx]

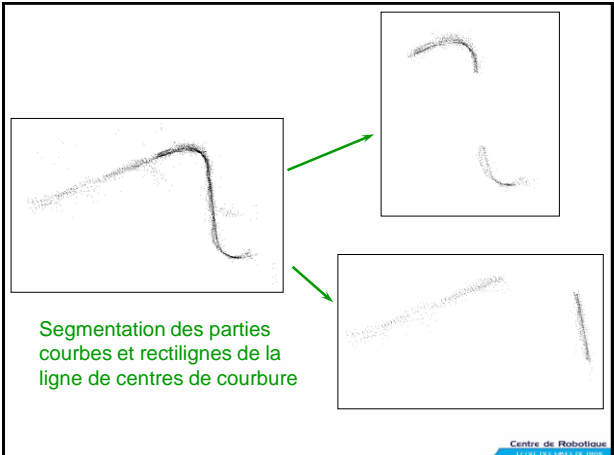
Centre de Robotique
TUM - Institut für Robotik und KI

Exemple : segmentation de tuyauterie

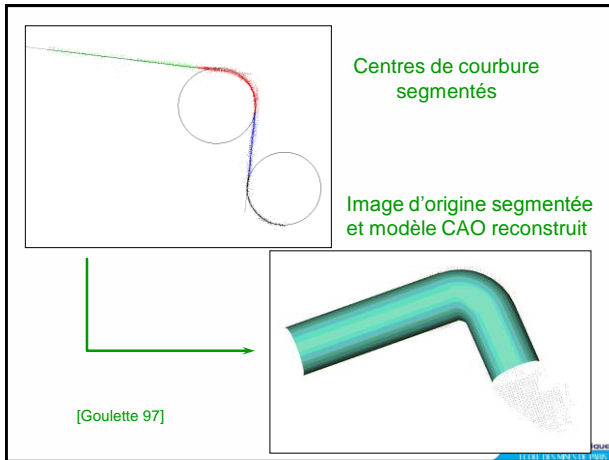
- **Lignes de centres de courbures**



Centre de Robotique
TUM - Institut für Robotik und KI



Centre de Robotique
TUM - Institut für Robotik und KI



2.2 Croissance de surface (Surface growing)

• Principe

- Partir de « surfaces germes » ou « graines » (*seed surface*) dans le nuage de points
- Agrégation progressive des points voisins appartenant à la même surface

• Remarques :

- Extension de l'algorithme « croissance de régions » pour les images ;
- Images de profondeur : [Besl and Jain 88]

38

Centre de Robotique
TICMI-TECHNISCOP 4000

Segmentation de façade de bâtiment [Stamos 2002]

Pour chaque point, calcul de la normale du plan dans un voisinage



Critères d'agrégation :

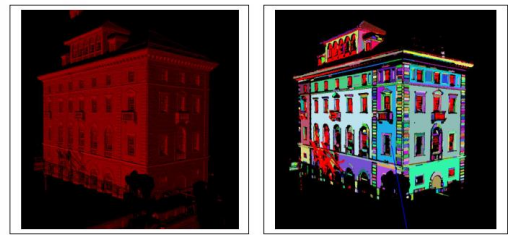
- co-normalité : $\alpha = \arccos(n_1 \cdot n_2) \leq \alpha_{seuil}$
- co-planarité : $d = \max(|r_{12} \cdot n_1|, |r_{12} \cdot n_2|) \leq d_{seuil}$

[Stamos 2002]

39

Centre de Robotique
TICMI-TECHNISCOP 4000

Segmentation de façade de bâtiment



[Stamos 2002]

Variantes : [Vosseman et al. 2004 ; Pu and Vosselman 2006
Boulaassal 2010 ; Deschaud 2010]

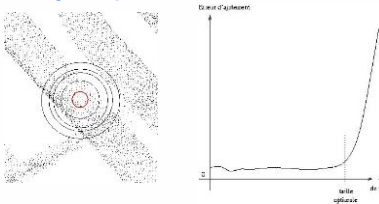
40

Centre de Robotique
TICMI-TECHNISCOP 4000

Segmentation de tuyauterie par croissance de surfaces [Chaperon 2002]

• Surface germe :

- Point indiqué par l'utilisateur
- Extraction locale de cylindre
 - Voisinage adaptatif, étude du résidu normalisé

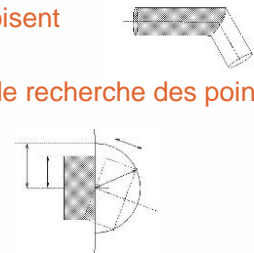


41

Centre de Robotique
TICMI-TECHNISCOP 4000

Propagation contrainte

- Petits cylindres (longueur ~ diamètre)
- Les axes d'un cylindre et de son successeur se croisent
 - « cylindre-rotule »
- Espace restreint de recherche des points



[Chaperon 2002]

42

Centre de Robotique
TICMI-TECHNISCOP 4000

Différentes étapes

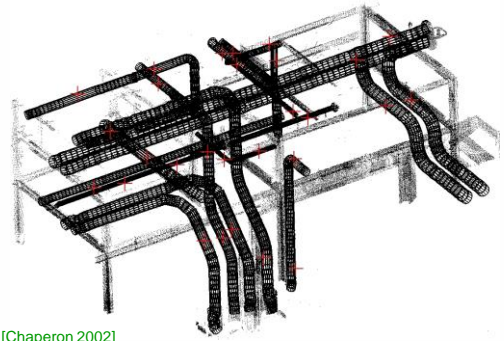


Nuage de points
et modèle extraits
(2 points de vue)

[Chaperon 2002]

43

Résultats



[Chaperon 2002]

44

Analyse de l'algorithme de croissance de surface

Avantages

- Rapide
- Facile à implémenter

Inconvénients

- Sensible au choix des surfaces germes
- Sensible au bruit
- Pas de garantie sur la surface finale

→ des variantes s'attachent
à régler ou atténuer ces
problèmes

45

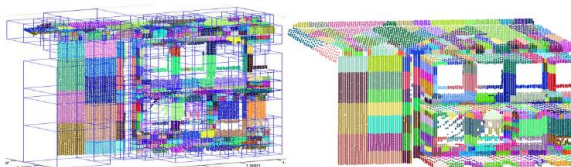
2.3 Division et fusion (*split and merge*)

• Principe :

- Eclatement et regroupement de régions
organisées selon un graphe d'adjacence
 - [Horowitz et Pavlidis 1976]
- Adaptation pour surfaces planes dans
données laser avec octree
 - [Wang and Tseng 2004]

46

Segmentation d'une façade par division et fusion

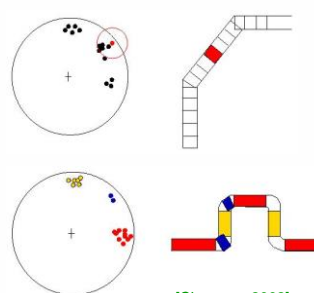


Façade de l'INSA de Strasbourg.
Structure d'octree (à gauche), résultat final (à droite)

[Boulaassal 2010]

47

Extraction de tuyauterie par Division et fusion



Division :

-on partitionne l'espace
par une segmentation
en petits cylindres

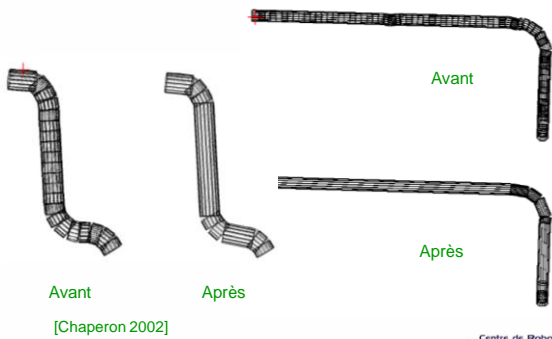
Fusion :

- on fusionne les
cylindres
adjacents de même axe
(sphère de Gauss)

[Chaperon 2002]

48

Résultats



49

2.4 RANSAC [Fischler & Bolles 87]

- Principe : Méthode de vote sur des échantillons aléatoires de surfaces
 - Échantillons calculés à partir du nombre minimal de points nécessaires pour définir la surface (quorum)
 - Vote : nombre de points du nuage englobés dans un espace entourant chaque surface
 - Le nombre de votes est décidé en fonction d'un calcul de probabilité

50

Primitives géométriques et quorum de points

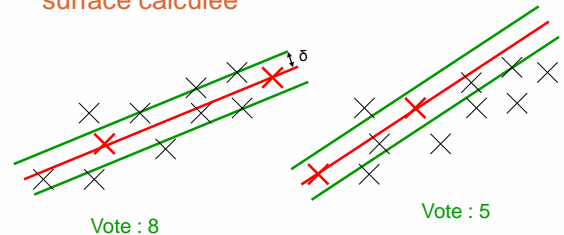
- Droite :
 - Quorum : 2 points non alignés
- Plan :
 - Quorum : 3 points x_i non alignés
 - Le plan est défini par :
 - L'un des points, par exemple : x_1
 - Une normale unitaire n , par exemple définie par :

$$n = \frac{(x_2 - x_1) \times (x_3 - x_1)}{\|(x_2 - x_1) \times (x_3 - x_1)\|}$$

51

Vote

- Nombre de points compris dans un espace à une certaine distance δ de la surface calculée



52

Probabilités

- Hypothèses
 - Plusieurs surfaces possibles ; points non bruités
 - N points dans le nuage de points
 - n points appartiennent à la surface recherchée
 - q points pour définir une surface (quorum)

53

Probabilités (2)

- Probabilité de trouver la surface recherchée

- Avec 1 tirage aléatoire :

$$p = \left(\frac{n}{N}\right)^q$$

- Avec T tirages aléatoires :

$$p = 1 - \left(1 - \left(\frac{n}{N}\right)^q\right)^T$$

54

Nombre de tirages nécessaires

- Nombre de tirages aléatoires T_{\min} nécessaires pour avoir une probabilité p_t de trouver une surface d'au moins n_{\min} points :

$$T_{\min} = \frac{\log(1 - p_t)}{\log\left(1 - \left(\frac{n_{\min}}{N}\right)^q\right)}$$

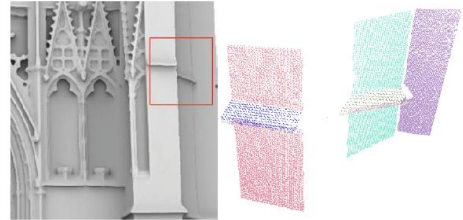
- En supposant $n_{\min} \ll N$:

$$T_{\min} \approx \log\left(\frac{1}{1 - p_t}\right) \left(\frac{N}{n_{\min}}\right)^q$$

55

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Plans extraits dans des nuages de points (RANSAC)



Zone de test encadrée (gauche) ; plans extraits (droite)
[Deveau 2006]

56

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Primitives géométriques et quorum de points et normales

- Si normales locales connues
- Plan :
 - (2) Quorum : 1 point et 1 normale (normale associée)
- Sphère :
 - (1) Quorum : 4 points non coplanaires
 - [Chaperon 2002a]
 - (2) Quorum : 2 points et leurs 2 normales associées
 - [Schnabel 2007]

57

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Autres primitives géométriques et quorum

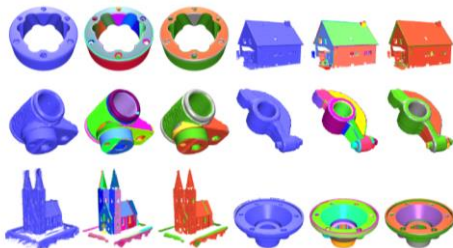
- Cylindre :
 - (1) Quorum : 5 points non dégénérés [Chaperon 2002b]
 - (2) Quorum : 2 points et leurs 2 normales associées
 - [Schnabel 2007]
- Cylindre-rotule :
 - Quorum : 2 points [Chaperon 2002a]



58

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Efficient RANSAC for point cloud shape detection [Schnabel 2007]



Voir aussi : [Bey 2013] (environnements industriels)

59

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

Analyse de RANSAC

Avantages

- Très efficace pour grandes surfaces en nombre inconnu dans un grand nuage de points

Inconvénients

- Les surfaces extraites ne sont pas connectées entre elles (topologie)
- Comparaison avec croissance de régions pour façades :
 - [Deschaud 2010]
- Besoin de régularisation
 - Optimisation contrainte, graphes de connexité [Bey 2013]

60

Centre de Robotique
TECHNIQUES DE RECHERCHE

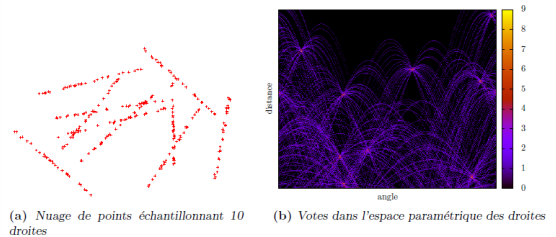
2.5 Hough 3D

- Principe : Méthode de vote dans l'espace discrétisé des paramètres
 - Chaque point du nuage génère des votes de surfaces possibles dans l'espace des paramètres
 - La cellule qui remporte le plus de votes est retenue comme surface
- Généralisation de la Transformée de Hough 2D (images)

61

Centre de Robotique
TUM - RWTH AACHEN

Transformée de Hough 2D – détection de droites



(a) Nuage de points échantillonnant 10 droites

(b) Votes dans l'espace paramétrique des droites

[Bey 2013]

62

Centre de Robotique
TUM - RWTH AACHEN

Transformée de Hough Généralisée – 3D

- Primitives complexes et 3D :
 - grande dimension de l'espace des paramètres
- Simplification de l'espace des paramètres :
 - utilisation des normales, astuces...

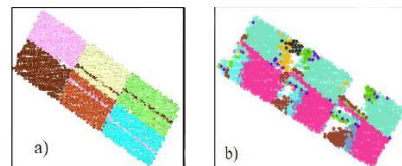


[Vosselman et al. 2004]
Voir aussi [Maas and Vosselman 1999,
Vosselman and Dijkman 2001]

63

Centre de Robotique
TUM - RWTH AACHEN

Comparaison RANSAC – Hough : détection de toits



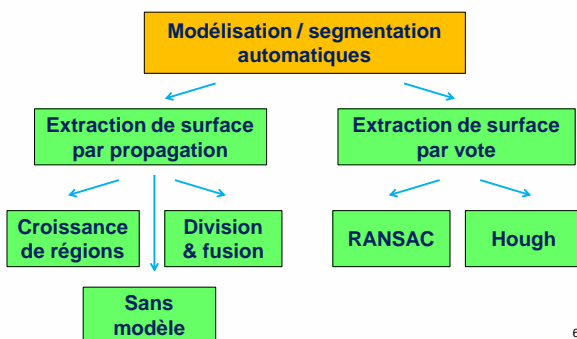
Extraction de plans de toits [Tarsha-Kurdi et al. 2007]
RANSAC (a) ; Hough (b)

Cette étude montre un avantage de RANSAC sur Hough

64

Centre de Robotique
TUM - RWTH AACHEN

Récapitulatif



65

Centre de Robotique
TUM - RWTH AACHEN

FIN

Ce qui a été vu aujourd'hui

- 1/ Modélisation 3D « réaliste » ?
- 2/ Modélisation et segmentation automatiques à partir de nuages de points

66

Centre de Robotique
TUM - RWTH AACHEN

Références

- [Bey 2013] Thèse Aurélien Bey, Univ. Lyon, 2013
- [Chaperon 2002a] Thèse Thomas Chaperon 2002
- [Chaperon 2002b]
- [Boulaassal 2010] Boulaassal H. (2010), Segmentation et modélisation géométriques de façades de bâtiments à partir de relevés laser terrestres. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.
- [Deschaud 2010] Thèse JE Deschaud, 2010
- [Arai 2013]
- [Ammoun 2002]
- [Besl and Jain 88]
- [Stamos 2002]
- [Vosseman et al. 2004]

67

Centre de Robotique
UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Références (2)

- [Pu and Vosselman 2006]
- [Horowitz et Pavlidis 1976]
- [Wang and Tseng 2004]
- [Chaine et al. 1999]
- [Medioni et al. xx]
- [Fischler & Bolles 87]
- [Deveau 2006]
- [Schnabel 2007]
- [Maas and Vosselman 1999]
[Vosselman and Dijkman 2001]
- [Tarsha-Kurdi et al. 2007]

68

Centre de Robotique
UNIVERSITÉ DE STRASBOURG