

THÈSE

Présentée par

FARID BOUDJEMAÏ

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR

de l'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

Discipline : AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

RECONSTRUCTION DE SURFACES D'OBJETS 3D A PARTIR DE NUAGES DE POINTS PAR RESEAUX DE NEURONES 3D-SOM

Soutenue le 08 février 2006 devant la Commission d'Examen :

OLIVIER COLOT	Président	Professeur à l'USTL
DENIS HAMAD	Rapporteur	Professeur à l'ULCO
FREDERIC MERIENNE	Rapporteur	Professeur à l'Institut Image - ENSAM
LESZEK LUCHOWSKI	Examineur	Chercheur à l'IITiS PAN Pologne
JACK-GERARD POSTAIRE	Co-Directeur de thèse	Professeur à l'USTL
PHILIPPE BIELA ENBERG	Co-Directeur de thèse	Enseignant-Chercheur à HEI

Thèse préparée au LAGIS UMR 8146 et à HEI - ERASM

Table des matières

Table des matières	7
Introduction générale	9
1. La reconstruction de surfaces à partir d'un nuage de points non-organisés.....	9
2. Notre contribution.....	10
3. Organisation du manuscrit.....	10
Reconstruction de surfaces à partir de nuages de points non-organisés	12
1. Introduction	12
2. Acquisition du nuage de points.....	14
2.1. La numérisation par contact.....	15
2.2. La triangulation	15
2.3. La télémétrie	16
2.4. Les méthodes optiques passives.....	16
3. Approches basées sur le diagramme de Voronoï.....	16
3.1. Le Crust	18
3.2. Le Cocone.....	20
3.3. Le Powercrust	21
4. Approches implicites.....	22
5. Approches mixtes.....	25
5.1. Méthode de Hoppe	26
5.2. Méthode mixte de Boissonnat.....	27
6. Approches dynamiques	27
7. Approches neuronales	30
7.1 Méthodes utilisant les cartes auto-organisatrices de Kohonen	30
7.2 Méthodes utilisant les « Growing Cell Structures ».....	32
8. Conclusion.....	32
Les cartes auto-organisatrices de Kohonen	33
1. Introduction	33
2. Fondements biologiques.....	33
3. Réseaux compétitifs	38
3.2. Stratégie d'apprentissage compétitif (« Winner Takes Most »)	40
3.3. Extensions et développement des réseaux compétitifs.....	42
4. Carte auto-organisatrice de Kohonen.....	43
4.1. Architecture et topologie de la carte de Kohonen	45
4.2. Principe général de l'algorithme de Kohonen	47
4.3. Algorithme de Kohonen	51
4.4. Exemples d'application	52
5. Convergence de l'algorithme.....	56
6. Conclusion.....	57
Les réseaux 3D-SOM	59
1. Introduction	59
2. Architecture des réseaux 3D-SOM	60
2.1. Introduction.....	60
2.2. Généralisation de l'architecture des cartes auto-organisatrices.....	62
2.3. Subdivision totale.....	63

3. Apprentissage compétitif.....	66
3.1. Apprentissage compétitif simple.....	66
3.2. Apprentissage compétitif avec répulsion.....	69
4. Initialisation du réseau 3D-SOM.....	74
4.1. Initialisation aléatoire.....	74
4.1. Initialisation « pré-établie ».....	75
5. Etude de l'effet des paramètres d'adaptation sur les 3D-SOM.....	77
5.1. Sensibilité de l'apprentissage par rapport au coefficient d'apprentissage $\alpha(t)$	78
5.2. Sensibilité de l'apprentissage par rapport au niveau du voisinage d'adaptation $N_c(t)$	78
6. Chaîne d'acquisition/ reconstruction par 3D-SOM.....	80
6.1. Matériel utilisé pour l'acquisition de points.....	80
6.2. Mise en œuvre du réseau 3D-SOM et résultats.....	82
7. Conclusion.....	84
Améliorations du processus d'adaptation des 3D-SOM.....	85
1. Introduction.....	85
2. Prise en compte de la densité de points dans le processus d'adaptation.....	86
3. Défauts d'adaptation.....	89
4. Réadaptation.....	91
5. Subdivision/Adaptation locale.....	93
5.1. Identification des triangles non-représentatifs.....	93
5.2. Subdivision locale.....	94
5.3. Apprentissage des zones subdivisées et des zones non subdivisées.....	96
6. Prise en compte d'un critère d'orientation de la normale à la surface pour chaque triangle	99
6.1. Intérêt du critère d'orientation.....	99
6.2. Implantation du critère d'orientation dans l'algorithme des 3D-SOM.....	101
7. Exemples de reconstructions de surfaces par 3D-SOM.....	103
8. Conclusion.....	107
Conclusion générale.....	108
1. Conclusion.....	108
2. Perspectives.....	108
Références personnelles.....	110
Bibliographie.....	111

RECONSTRUCTION DE SURFACES D'OBJETS 3D A PARTIR DE NUAGES DE POINTS PAR RESEAUX DE NEURONES 3D-SOM

Résumé :

Les travaux menés dans le cadre de cette thèse ont pour principal objectif de développer une architecture neuronale auto-adaptative et non supervisée dévolue à la reconstruction d'objets 3D. L'espace d'entrée du réseau de neurones est constitué du nuage de points 3D non-organisés acquis à la surface de l'objet à reconstruire. Nos travaux se sont orientés vers le développement d'une nouvelle architecture neuronale inspirée des cartes auto-organisatrices de Kohonen que nous avons appelée 3D-SOM.

Après apprentissage du nuage de points par le réseau, l'architecture du réseau se présente sous la forme d'une architecture neuronale maillée ayant pris la forme de l'objet à reconstruire.

Nous avons adjoint au réseau 3D-SOM différentes lois d'apprentissage, permettant la mise en œuvre d'un processus d'auto-organisation efficace. Nous avons également introduit :

- un niveau d'adaptation modulable qui permet l'évolution dynamique du voisinage d'apprentissage.
- une loi d'adaptation locale subordonnée à des critères spécifiques pour chaque neurone ou pour chaque triangle (coefficient d'apprentissage local, densité locale des points dans le nuage, orientation des normales aux triangles).
- un processus de subdivision d'architecture global ou local qui consiste à accroître le nombre de neurones (donc du nombre de mailles) composant le réseau aux endroits où le réseau rencontre des difficultés à s'adapter à la forme réelle de l'objet.

SURFACE RECONSTRUCTION OF 3D OBJECTS FROM POINTS CLOUD USING NEURAL NETWORKS: 3D-SOM

Resume :

The work undertaken within the framework of this thesis has for main goal to develop an unsupervised self-organizing neuronal architecture dedicated to surface reconstruction of 3D objects. The entry space of the neural network consists in an unorganized cloud of 3D points acquired on the surface of the 3D object. Our work was directed towards the development of a new neuronal architecture inspired from the self-organizing maps of Kohonen that we call 3D-SOM. After a learning process, the network appears as a neuronal mesh having the shape of the object to reconstruct.

We associated various learning laws to the 3D-SOM, allowing the setting of an effective self-organization process. We also introduced:

- a flexible level of adaptation which allows a dynamic evolution of the learning neighbourhood.
- a local adaptation law subordinated to specific criteria for each neuron of each triangle (local adaptation coefficient, local density of the points cloud, orientations of the normals to the triangles).
- a global and local subdivision process which consists in increasing the number of neurons (thus the number of triangles in the mesh) composing the neural network at the places where the network encounters difficulties of adaptation to the real shape of the object to reconstruct.

Mots clés : reconstruction de surfaces, réseaux de neurones, cartes auto-organisatrices de Kohonen, 3D-SOM, Nuages de points, reconstruction 3D.

Keywords: surface reconstruction, neural networks, Kohonen's self-organizing maps, 3D-SOM, cloud of points, 3D reconstruction