

# Principe de guidage d'un robot industriel par caméra de vision 3D

Septembre 2014

## Contexte

Les enjeux de la robotisation pour la compétitivité des entreprises bretonnes nécessitent le développement de procédés innovants. Dans ce contexte, 3 centres de R&D bretons étudient l'assistance de la vision 3D et des algorithmes de décision pour le pilotage de robots industriels dits agiles. La vision 2D robotisée est largement maîtrisée dans les procédés de transformations des matériaux (soudage, convoyage de pièces, découpe) ou dans la filière agro-alimentaire. Cependant, de nombreuses applications nécessitent la reconnaissance de formes complexes en 3 dimensions, ainsi que la prise de décisions rapides et variées. Par exemple, nous pouvons citer le meulage de pièces de forge ou mécano-soudées, ainsi que le polissage de pièces composites automobiles ou navales. La robotisation de telles applications est envisageable par la mise au point de vision 3D innovante et d'algorithmes de décision évolués et rapides.

## Problématique

Les avantages d'un capteur 3D sont les suivants :

- Exploitation de données tridimensionnelles avec représentation 3D de la scène.
- Exploitation de la perspective.
- Possibilité de détecter les collisions.
- Génération de trajectoires sur surfaces non planes.
- Meilleure précision dans le contrôle du robot.
- Possibilité de déterminer entièrement la position et l'orientation d'une pièce/surface dans l'espace.
- Possibilité de contrôler des défauts: mesure du volume etc.

Néanmoins, l'utilisation d'un capteur 3D présente plusieurs limitations :

- Malgré leur démocratisation, les capteurs 3D sont plus chers que les capteurs 2D.
- Le traitement des données issues du capteur 3D est radicalement différent du traitement 2D; l'expertise 2D n'est pas suffisante pour aborder des problèmes 3D.
- Le traitement des données 3D est souvent plus gourmand en ressources matérielles comparé au traitement 2D; les traitements 3D embarqués sont donc plus difficiles à mettre en œuvre.

## Expérimentation

Une caméra de vision 3D est fixée sur le poignet du robot (figure 1). Les données du capteur permettent de reconnaître des surfaces/pièces et de générer des trajectoires en 3D. Cependant la caméra 3D doit être calibrée dans le repère de coordonnées du robot pour générer des trajectoires cohérentes.

La figure 1 montre les blocs élémentaires permettant de créer une application de vision 3D. La mise en cascade de tout les blocs du schéma ci-dessous permet par exemple le meulage robotisé de pièces mécaniques à l'aide du système de vision.



Figure 2 : Mise en place d'une application de vision 3D

## AU SOMMAIRE

CONTEXTE	1
PROBLEMATIQUE	1
EXPÉRIMENTATION	1
KINECT	2
ENSENSO N10	3
STÉRÉO-VISION	3
TRAITEMENT DES DONNÉES	4
PILOTAGE DU ROBOT	5

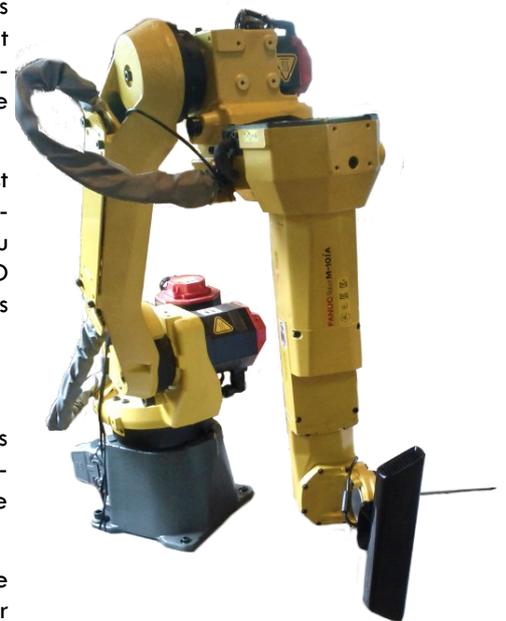


Figure 1 : Robot Fanuc et Kinect

# Principe de guidage d'un robot industriel par caméra de vision 3D

A cette date, nous avons évalué deux capteurs 3D : la Kinect Microsoft et l'Ensenso N10 d'IDS Imaging.

## Kinect

Le capteur de vision 3D sans contact est vendu par Microsoft (sortie Européenne fin 2011) avec une console de jeu (Xbox) avec plus récemment une version PC. Il permet la reconnaissance de mouvements dans les jeux vidéo qui l'exploitent. Par exemple il permet de « jouer » au tennis comme avec une vraie raquette au sein d'un jeu. L'accessoire est vendu environ 100€ (à sa sortie en 2012).

Le capteur rencontre assez vite un franc succès, à la fois commercial mais aussi chez les développeurs. Des applications diverses et variées sont développées par des industriels, des universitaires et des particuliers.

La Kinect a été conçue par PrimeSense, une société Israélienne indépendante de Microsoft. D'autres capteurs du même type existent, la Xtion et la Carmine; elles ressemblent fortement à la Kinect mais le boîtier du capteur est plus petit et ne nécessite pas d'alimentation supplémentaire contrairement à la Kinect.

Début 2012, Microsoft commercialise une version Kinect pour Windows, le capteur ayant été modifié pour pouvoir fonctionner à une distance plus proche. Cette Kinect

est vendue environ 250€ (en février 2012). De plus, Microsoft a publié un SDK facilitant la programmation du capteur sous Windows 7 et 8, ceci permettant d'ouvrir ses applications pour un coût modique. Des pilotes libres (non Microsoft) existent aussi, ce qui permet d'utiliser la Kinect pour d'autres applications que celles prévues par Microsoft. La Kinect 2 existe aussi mais n'est pas encore disponible sur PC (en juin 2014).

### Composants de la Kinect

La Kinect se présente sous la forme d'un boîtier non fermé (ventilé) noir, on distingue 3 ouvertures ainsi qu'une LED d'activité sur la façade (vert/rouge). Elle est reliée à la Xbox (ou au PC) par un câble USB 2.0. L'illustration ci-dessous présente la Kinect Xbox telle qu'elle est commercialisée :



Figure 3 : Microsoft Kinect

### Caractéristiques techniques :

La Kinect utilise le principe de la triangulation à partir de la projection de motifs (mouchetis infrarouge, voir figure 4) pour déterminer une carte de profondeur de la scène observée.

La distance entre 2 mouchetis est connue est calibrée à une distance donnée. L'écartement ou inversement le rapprochement permet donc de connaître la profondeur relative de ces points par rapport à la caméra

Un des avantages de la Kinect est que le traitement des images du capteur CMOS infrarouge est fait en interne sur un FPGA. La Kinect transmet directement sur le bus USB les cartes de profondeurs calculées (30/seconde). Cela à plusieurs conséquences :

- La calibration intrinsèque est déjà effectuée et prise en compte.
- Pas de logiciel à développer pour la création des cartes de profondeurs
- Allègement de la charge de calcul du PC (les cartes de profondeur sont déjà calculées)

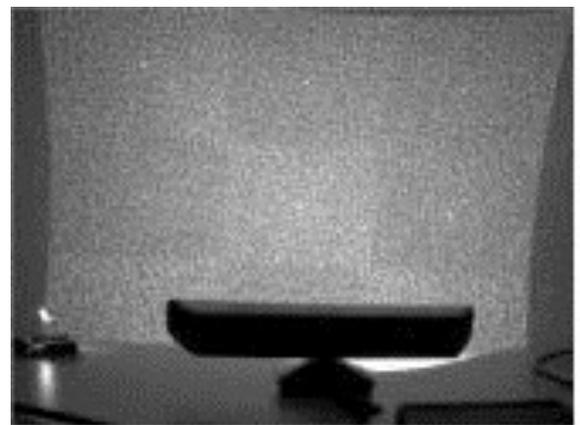


Figure 4 : Motifs infrarouge de la Kinect

La résolution de la carte de profondeur est de 640 x 480 pixels, la précision de la Kinect est d'environ 1 cm: elle dépend de la distance à laquelle on l'utilise.

Avantages	Limites
Invisible à l'œil nu (infrarouge)	Sensible aux variations de température
Insensible aux bruits, vibrations	Sensible aux courants d'air
Simplicité technologique	Portée limitée
Fonctionne en luminosité faible	Sensible au soleil

Figure 5 : Avantages et limites de l'infrarouge pour la mesure de distances

# Guidage d'un robot à l'aide d'une caméra de vision 3D

## Ensenso N10

Le capteur de vision - conçu par IDS-Imaging - possède un fonctionnement différent de la Kinect malgré ses composants similaires. Le principe utilisé est la stéréovision: une correspondance est faite entre les pixels de la caméra gauche et droite ce qui permet de déterminer, grâce à la triangulation, une carte de profondeur du même type que celle de la Kinect.

En plus de la stéréovision, cette caméra possède un projecteur infrarouge. Ce dernier est utile lors de la génération d'une carte de profondeur sur une surface non texturée (par exemple un mur uniforme). En effet, il est impossible de faire la corrélation entre 2 images entièrement uniformes donc de mesurer la profondeur. On notera donc que les capteurs fonctionnent en (proche) infrarouge. La résolution des capteurs est de 720 x 480 pixels, le fonctionnement le plus rapide est 30 images/seconde mais la fréquence de fonctionnement dépend du processeur du PC de traitement car les cartes de profondeurs sont générées par le PC qui effectuera le traitement des données.

Les pilotes et le SDK Ensenso sont disponibles gratuitement sous Linux et Windows.



Figure 6 : Ensenso N10

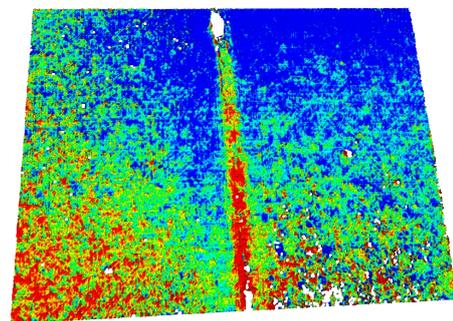


Figure 7 : Carte de profondeur obtenue avec l'Ensenso N10

## Principe de la stéréovision

La figure 8 nous montre le fonctionnement de la stéréovision qui permet à un humain de distinguer le relief. Comme nos yeux, 2 caméras sont placées à une distance connue dans le capteur. Chaque caméra a une vue de la scène qui lui est propre : la position latérale relative des objets entre eux dépend donc de leur distance à l'observateur et de l'œil avec lequel on les regarde.

La géométrie des lentilles, des capteurs et l'écartement entre les deux capteurs caractérisent la qualité du produit. On peut résumer le processus de stéréovision en 3 étapes :

- Rectification: permet de supprimer les déformations de l'image induites par les défauts de l'objectif (par exemple, l'aberration).
- Stéréo-correspondance: Recherche des pixels droite/gauche allant par paire. Il n'existe pas forcément une correspondance pour tous les pixels (sur les bords de l'image par exemple). Ces derniers sont exclus.
- Calcul des disparités: en connaissant la distance entre les deux capteurs, on peut alors calculer (par triangulation) la distance à laquelle les capteurs se trouvent du point.

Le résultat de ce processus est une carte de profondeur, c'est-à-dire, une image 2D qui contient en plus une information sur la distance du point au capteur.

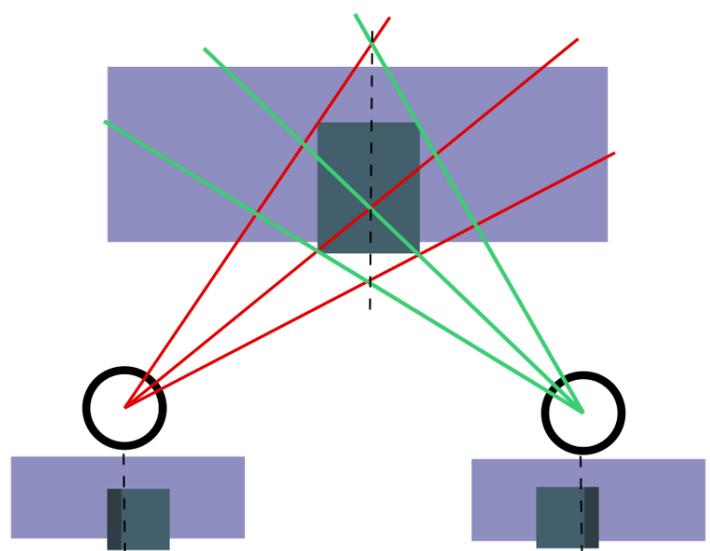


Figure 8 : Schéma représentant la stéréovision

A cause des occlusions et des effets de bords, on ne peut pas obtenir une carte de profondeur complète; l'information de distance ne sera pas disponible pour tous les pixels de l'image. Dans la Fig.8, ce phénomène est illustré par les deux zones d'ombres sur les deux images du bas. En effet, sur notre schéma, les côtés de la boîte ne peuvent pas être en même temps vus par les 2 caméras (phénomène d'occlusion).

# Guidage d'un robot à l'aide d'une caméra de vision 3D

## Traitement des données

Le processus de numérisation 3D consiste à recréer une forme 3D d'un objet réel. La numérisation se fait en plusieurs étapes :

- Capturer plusieurs nuages de points de l'objet à reconstruire.
- Corréler les nuages de points
- Reconstruire un maillage

Nous pouvons voir ci-dessous deux exemples de maillages obtenus avec les capteurs. Cette pièce permet d'apprécier la résolution spatiale de chaque capteur:

10 mm pour la Kinect, 3 mm pour l'Ensenso N10-804-18.

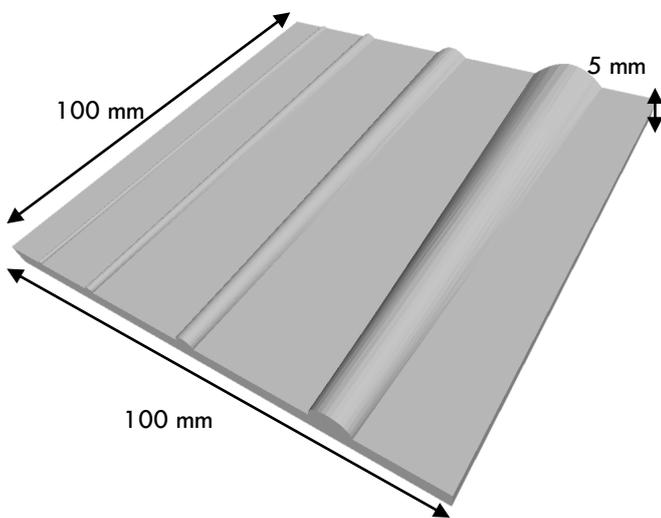


Figure 9 : CAO de la pièce numérisée

Les capteurs 3D sont avant tout des appareils de mesure optiques; on retiendra plusieurs caractéristiques importantes lors du choix d'un capteur:

### Résolution

La résolution est le nombre de pixel du capteur, plus cette résolution est grande plus on pourra détecter des détails fins.

### Distance focale

La distance focale dépend de l'objectif utilisé, cette donnée va déterminer à quelle distance le capteur donnera les meilleurs résultats. De plus, plus la distance focale est grande et plus les dimensions de la pièce observée pourront être importantes.

### Profondeur de champ

La profondeur de champ désigne la fourchette de distance où le capteur peut réaliser des mesures. Plus la profondeur de champ est grande, plus le capteur est versatile.

### Précision de mesure

Cette grandeur est calculée par la quotient de la résolution par la distance focale. Ainsi plus la distance focale est grande et plus la précision baisse.

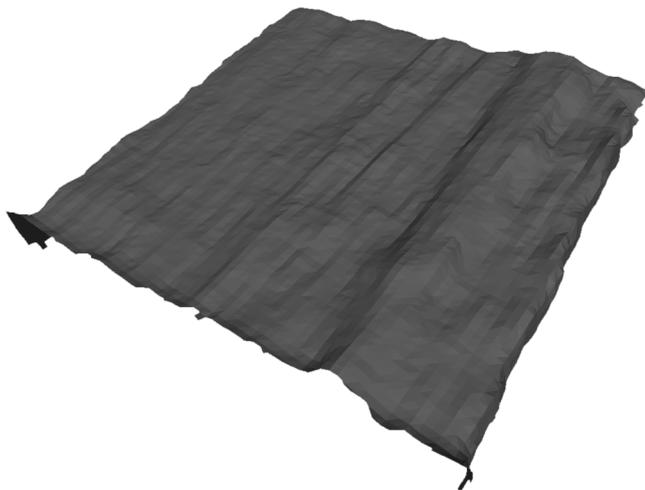


Figure 10 : Pièce numérisée avec la Kinect

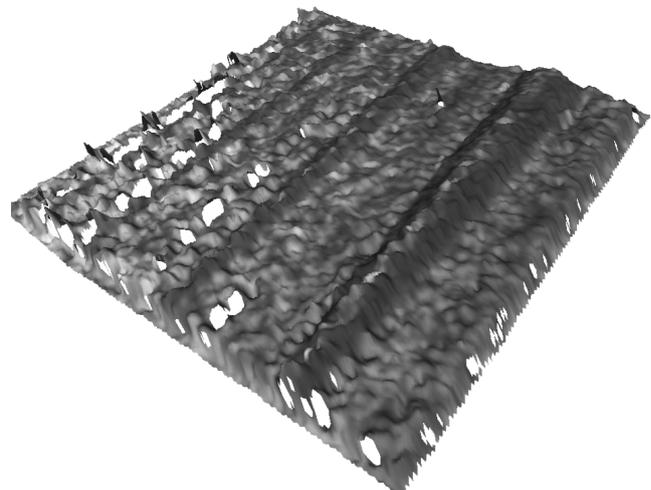


Figure 11 : Pièce numérisée avec l'Ensenso N10

# Principe de guidage d'un robot industriel par caméra

## Pilotage du robot via la génération de trajectoires

Le capteur de vision 3D (ici la kinect pour notre exemple) est embarqué sur le robot et calibré. Le robot peut ensuite numériser une pièce en 3D à l'aide du capteur et générer la trajectoire pour l'opération envisagée (meulage,...) automatiquement selon le profil numérisé. Les figures 12 et 13 illustrent un exemple de suivi d'arêtes sur un cube (la vidéo est disponible sur notre site internet). Quel que soit la position du cube, le robot est capable de le repérer dans l'espace et suivre son contour. Une telle technologie est intéressante quand le pilotage du robot ne peut pas être fait via un capteur 2D, comme par exemple, le meulage de pièces complexes, le dévissage.

Bien qu'il soit possible de réaliser le traitement d'images dans la baie du robot,

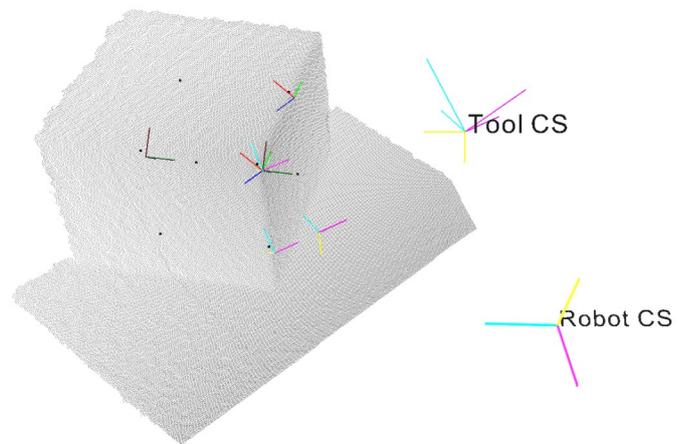


Figure 12 : Génération de trajectoires sur un cube

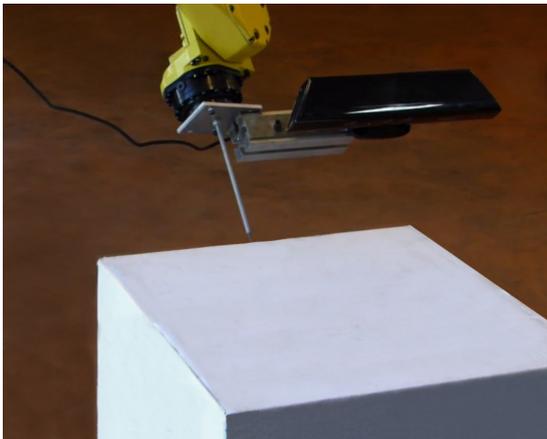


Figure 13 : Détection et suivi d'arêtes sur un cube de calibration

nous avons choisi de conserver les calculs sur PC externe pour vérifier hors ligne la trajectoire possible. Il faut ainsi s'assurer que cette trajectoire n'entraîne pas de mise en singularité du robot (position impossible à atteindre) ou de collision avec la pièce. Cette trajectoire générée est alors envoyée au robot qui l'exécute.

Pour en savoir plus, contactez:  
Laurent Dubourg, Chargé d'affaires Pôle Assemblage  
tel: 02.99.57.15.74  
laurent.dubourg@institutmaupertuis.fr

Victor Lamoine  
tel: 02.99.05.50.29

## INSTITUT MAUPTUIS



L'Institut MAUPTUIS est un centre de ressources technologiques en productique et en mécatronique. Il accompagne les entreprises dans l'innovation de leurs produits et de leurs outils de production en mettant à leur disposition compétences, méthodologies et équipements industriels :



### Ingénierie de projets innovants

Assistance au montage et à la conduite de **projets techniques collaboratifs ou internes** : Recherche de partenaires industriels ou académiques, recherche de financement et rédaction de dossier, gestion de projet.



### Conseil technologique neutre

Conseil sur les **technologies productives** et leurs **applications industrielles** : RFID, automatisation, monitoring, capteurs ...



### Conseil en robotisation des procédés

Études de faisabilité technico-économique, démonstrateur, prototypage. Expert du programme national 



### Expertise des procédés laser

Études de faisabilité industrielle, essais sur plateforme, qualification, prototypage : Soudage, découpe 3D, rechargement, polissage, traitement de surface.



### Expertise des procédés d'assemblage par friction-malaxage robotisé (RFSW)

INSTITUT MAUPTUIS  
Contour A. de St Exupéry  
Campus de Ker Lann, 35170 Bruz

☎ 02 99 05 84 56

✉ contact@institutmaupertuis.fr



L'association s'inscrit dans la politique régionale de soutien à la recherche appliquée et à l'innovation. Son pilotage est assuré par des personnalités industrielles locales en partenariat avec l'UIMM Bretagne, Autéo, Plasti-Ouest, le Pôle Productique Bretagne et le CETIM. L'association est soutenue et subventionnée par l'Europe, la Région Bretagne, le Conseil Général d'Ille et Vilaine et Rennes Métropole. L'Europe s'engage en Bretagne avec le Fonds Européen de Développement Régional.