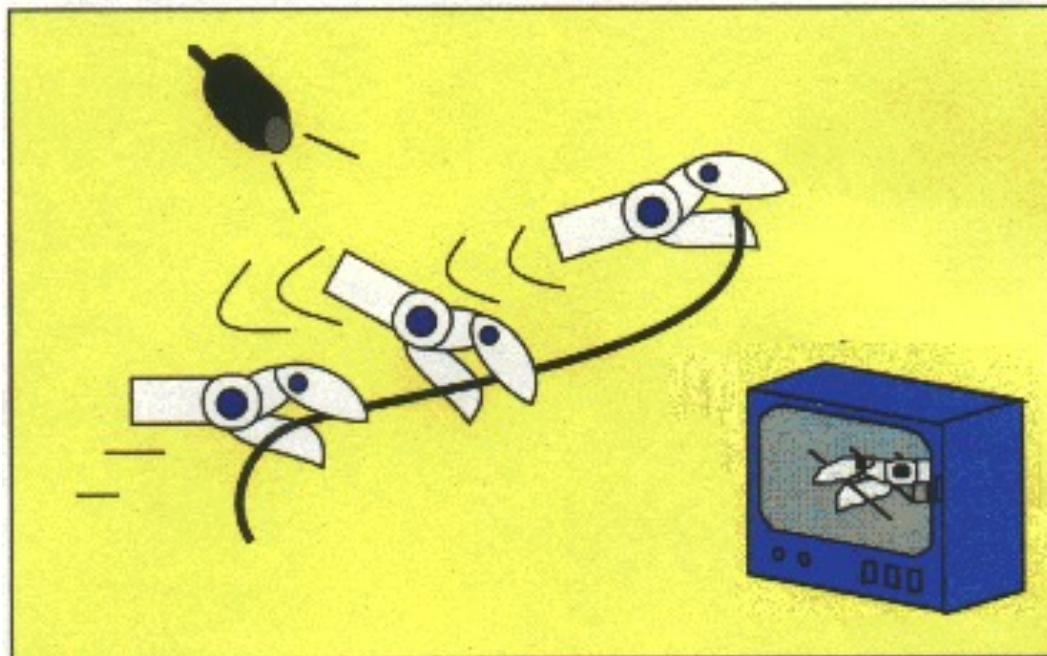


*Faculté de Technologies Informatiques et de la Communication,  
Faculté de Technologies INdustrielles  
LaRA - Laboratoire de Robotique et Automatisation*

# ROBOTIQUE ET VISION PAR ORDINATEUR

Jean-Daniel Dessimoz



[cifs://Eistore2.einet.ad.eivd.ch/iai-LaRA/CoursEtPolycops](http://cifs://Eistore2.einet.ad.eivd.ch/iai-LaRA/CoursEtPolycops)

Yverdon-les-Bains, 18 février 2017

# **ROBOTIQUE ET VISION PAR ORDINATEUR**

© Copyright 1982-2017, J.-D. Dessimoz  
circa 500pp, 200 fig., 50 réfs.

**HAUTE ECOLE D'INGENIERIE ET DE GESTION DU CANTON DE VAUD  
HESSO.HEIG-VD**

CH-1400 YVERDON-LES-BAINS

## PREFACE

Nous voici en début de semestre. Comment le cours va-t-il se développer? Quelques remarques générales à ce propos.

Dans ce cours, l'enseignement vise deux buts en partie disjoints: d'une part, il s'agit d'orienter l'attention vers un maximum de techniques importantes pour l'ingénieur, en priorité dans le domaine correspondant au titre du cours. D'autre part, il faut qu'on se prépare aux examens (travaux écrits ou examen final).

Pour atteindre le premier objectif, les moyens les plus divers sont adéquats : références bibliographiques, magazines techniques, documentation des fournisseurs, etc.. Cette approche justifie un polycopié relativement épais.

Pour le deuxième but, il est nécessaire de restreindre énormément le champ de vue. La matière à connaître pour les contrôles sera généralement délimitée par les exemples faits en classe et par les exercices. De plus, avant l'examen final, une liste de thèmes précis vous sera communiquée.

Le polycopié sera distribué par sections successives, afin d'être le plus à jour possible. Cependant le cours de l'année dernière est disponible, en entier. En particulier, il gagne à être consulté lors du travail sur les diverses manipulations de laboratoire.

En classe, le polycopié s'accompagne d'un message oral et de certaines « diapositives » supplémentaires. N'hésitez donc pas à ajouter au polycopié vos notes manuscrites, spécialement pour les points qui vous sont d'un grand intérêt. De cette façon vous pourrez en tirer le meilleur profit, une fois seul chez vous. Remarquez que ce type d'exercice vous sera utile sur au moins deux points: c'est une technique que vous utiliserez souvent durant votre carrière; et vous ne serez pas noyé sous de longs textes contenant des éléments que vous connaissez déjà, ou qui ne vous intéressent pas.

Le polycopié doit être lu en avance par les étudiants. Les points les moins clairs peuvent être discutés lors du cours.

Etant donné la dispersion des acquis préalables, les étudiants sont amenés à influencer de façon importante l'organisation et le contenu prioritaire du cours selon le principe de la classe inversée. La cohérence différenciée suivant les cas peut s'appuyer sur plusieurs projets de groupes différents, visant notamment plutôt les techniques de base, ou alors plutôt les techniques avancées.

Remarques, critiques et suggestions sont les bienvenues.

JD Dessimoz, 18 février 2017

## ROBOTIQUE ET VISION PAR ORDINATEUR

### Table des matières

0. Introduction

#### 1. CONCEPTS GENERAUX

- 1.1 Remarques historiques et définitions
- 1.2 Caractéristiques techniques essentielles
- 1.3 Capteurs et information
- 1.4 Technologie des actionneurs
- 1.5 Caractéristiques de l'organe de préhension \*
- 1.6 Choix d'une solution automatisée

#### 2. CINEMATIQUE D'UN BRAS MANIPULATEUR

- 2.1 Introduction et rappels de calcul matriciel
- 2.2 Analogie graphique pour repères et matrices de transformation
- 2.3 Coordonnées angulaires
- 2.4 Coordonnées homogènes
- 2.5 Solution cinématique directe (méthode D-H)
- ~~2.6 Problème cinématique inverse \*~~
- ~~2.7 Jacobien \*~~
- ~~2.8 Modèle dynamique \*~~

#### 3. COMMANDE DES ROBOTS ET DES SYSTEMES AUTOMATISES

- 3.1 Notion de commande hiérarchisée
- 3.2 Programmation des systèmes de commande
  - 3.2.1 Exemple d'application: assemblage d'une pompe
  - 3.2.2 Automates programmables et ordinateurs industriels
  - 3.2.3 Commande des robots industriels
- 3.3 Coordination des articulations d'un robot
- 3.4 Commande et asservissement d'axes

#### 4. VISION PAR ORDINATEUR

- ~~4.1 Automatisation d'une opération de production~~
- ~~4.2 Conception de la mécanique d'un bras manipulateur \*~~
- ~~4.3 Sens tactile (capteurs de force et de moments)~~
- 4.4 Vision par ordinateur
- ~~4.5 Modélisation géométrique tridimensionnelle~~
- ~~4.6 Méthodes de l'intelligence artificielle pour la génération de plans d'action~~

#### 5. TECHNIQUES "AVANCEES"

- 5.1 **A propos de projets**
- 5.2 **Piaget en général et théorie associée**
- 5.3 **Navigation - théorie**
- 5.4 **Navigation - Rulebook 2016 RAH**
- 5.5 **Navigation - avec Piaget**

#### ANNEXES

- Références bibliographiques
- Exercices
- Questionnaire pour l'amélioration du livre

#### **REMARQUES**

Chacune des parties du cours sus-mentionnées contient sa propre table des matières, sous une forme plus détaillée.

Les parties suivies d'une "\*" ne seront pas traitées dans le cours destiné à la filière EE, vu la dotation horaire du plan d'études.

## INTRODUCTION

L'automatisation industrielle se développe à un rythme accéléré, et la robotique en est l'un des éléments majeurs. Le livre présente ces domaines avec pour objectif de fournir à des étudiants ingénieurs de dernière année, ainsi qu'à des ingénieurs déjà actifs dans l'industrie, les bases indispensables pour y jouer un rôle actif.

Le livre est composé de quatre parties. La première introduit les *concepts généraux*, comprenant en particulier les définitions de base et certains éléments, tels que les capteurs, les actionneurs, ou encore les aspects économiques, que la suite de l'ouvrage n'approfondit pas.

La deuxième partie est essentielle pour comprendre et gérer le fonctionnement d'un bras de robot. On y traite de *cinématique*. Il s'agit de décrire les positions et les orientations d'un objet dans l'espace, ainsi que les trajectoires qu'il parcourt. Les éléments introduits sont sensiblement différents de ce qu'on étudie en mécanique rationnelle, car ils doivent conduire à des solutions efficaces, élaborées rapidement avec des ressources raisonnables en termes de moyens informatiques. En fait l'intérêt de ce chapitre déborde la commande d'un bras physique de robot, mais couvre aussi le champ de la simulation de chaînes articulées quelconques, et en particulier celui de la représentation du monde réel à l'intérieur d'ordinateurs.

La troisième partie traite de la *commande* des robots et des systèmes automatisés. Il y est reconnu, en particulier, que les systèmes de commandes sont actuellement presque toujours organisés de façon hiérarchique. Différents niveaux de commande sont ensuite approfondis, comprenant la programmation générale de systèmes industriels, la coordination d'articulations multiples, de façon à définir les trajectoires voulues dans l'espace, ainsi que les servocommandes individuelles d'axes de mouvement.

Enfin, la quatrième partie rassemble des *chapitres choisis*, en robotique et en automatisation industrielle. On y aborde des sujets qui, sans être centraux, se rencontrent néanmoins fréquemment dans ce contexte. Les thèmes majeurs sont ici divers, comprenant aussi bien les questions d'installation de systèmes automatisés et de conception de pièces pour l'automatisation, que la conception mécanique d'un bras, la vision artificielle et le sens tactile. La modélisation géométrique tridimensionnelle, et l'usage de systèmes à bases de connaissances pour la génération de plans d'actions font aussi l'objet d'un chapitre.

Les trois premières parties sont rassemblées dans le tome I. Le second tome présente la partie finale.

Le domaine traité est fortement interdisciplinaire, aussi la plupart des ingénieurs trouveront dans l'un ou l'autre chapitre traité des éléments nouveaux pour eux. Même les chapitres correspondant à leur propre spécialité présentent la matière sous un angle plus global, "systémique", que ce n'est généralement le cas. Les connaissances offertes par le livre devraient donc s'avérer stimulantes et, en particulier, permettre un échange ultérieur fructueux entre divers spécialistes d'une même équipe.

### CORRESPONDANCES ENTRE COURS ET LABO

Expérience de laboratoire (No)	Partie correspondante du cours (éventuellement, autre référence)
Capteurs (22) et ranger 3D (34)	1.3, 4.3, 4.4, doc. fournisseurs
ABB Irb 140, et Yumi (28, 40)	3.5.a
RX-Stäubli, V+ (6)	3.5.c, 2.2, 2.3, 2.4
TX-Stäubli, Val-3 (32)	3.5.c, 2.2, 2.3, 2.4
Bosch et ARIA-Delta (39, 23)	3.5.e, 2.2, 2.3, 2.4
Vision I (acquisition d'images, 9)	4.4
Vision II (analyse d'images, 10)	4.4, doc. fournisseurs
Vision III (trait. 2D d'images, 24)	4.4, doc. fournisseurs
Modelage 3D (11)	4.5
Génération de plans d'action et IA (21)	4.6, Classeurs spécifiques
API, manipulateur, réseau de terrain (25)	3.1, 3.2, 3.3, doc. fournisseur
Commande de moteurs (27)	1.4, 3.3
Robots mobiles (30)	Classeurs spécifiques
Robot humanoïde NAO (36)	Classeurs spécifiques

#### Remarque

Chaque manipulation est décrite dans un classeur spécifique, qui contient des informations supplémentaires. En particulier, on y trouve toujours l'énoncé du travail demandé ainsi que, généralement, un guide pour la manipulation.