

Robot à câbles d'assistance au levage et positionnement 2D/3D

Etudes et projets autour d'un robot à câbles

Descriptif du support technologique

Les robots à câbles constituent un espace de recherche prometteur pour la robotique. L'application à ce jour la plus connue est le système de déplacement de caméras sur les stades (ex: Skycam). Les robots à câbles présentent l'avantage de limiter les masses en mouvement (et donc l'inertie) et d'autoriser des déplacements sur des grandes distances.

Le robot à câbles proposé met en œuvre des solutions mécatroniques de pointe dans une **plateforme de développement** :

- ✓ Contrôle pour **asservissement en position, vitesse et effort**
- ✓ Communication en USB et CANopen
- ✓ Motorisation & Energie : **Moteurs « brushless », carte industrielle de contrôle moteur**
- ✓ Mesure d'efforts
- ✓ Solutions mécaniques de trancannage (Enroulement ordonné du câble)

Le produit permet de réaliser des activités pédagogiques liées à la conception mécanique, électrique, électronique et logicielle mais aussi de travailler sur l'analyse et à la commande de systèmes asservis. C'est également une remarquable plate-forme de projets didactiques.

Architecture & Options du « Robot à câbles »

Le « Robot à câbles » est composé d'un châssis (WR10) avec **1, 2 ou 4 têtes d'enroulage** (WR11) commandé par des cartes de contrôle moteur **PLUTO** (Ingenia Motion Control).

Ces têtes d'enroulage communiquent en CANopen avec une carte à microcontrôleur, une « plate-forme » de programmation **Mbed** disposé dans un boîtier de commande.

Les différentes configurations possibles sont :

- ✓ **WR10 + WR11** : Robot à câbles d'assistance au levage avec une tête d'enroulage brushless.
- ✓ **WR10 + WR11 + WR11** : Robot à câbles de positionnement 2D avec deux têtes d'enroulage brushless.
- ✓ **WR10 + WR10 + WR11 + WR11 + WR11 + WR11** : Robot à câbles de positionnement 3D avec quatre têtes d'enroulage brushless rétro-compatibles en système à 2 enrouleurs.

La référence suivante est un **analyseur logique** permettant de visualiser les trames CAN, vivement conseillé si le développement est envisagé en informatique industrielle :

- ✓ **PR09** : Analyseur logique de trames 34 voies 500 MHz.

Ces produits sont accompagnés d'un dossier technique et pédagogique sous format numérique comprenant :

- ✓ Site HTML avec les activités, projets, corrigés et ressources
- ✓ **Sources de programmation**, schémas fonctionnels
- ✓ Fiches techniques des composants
- ✓ Modèles de **simulation Scilab**
- ✓ **Analyse fonctionnelle** par approche **SysML**
- ✓ Sources, gerbers et schémas **Kicad** de la carte d'acquisition du boîtier de commande

Les points forts du « Robot à câbles »

- ✓ Evolutivité : scénarios à **plusieurs têtes d'enroulage**, avec la même commande
- ✓ Contrôle de la **commande en boucle fermée** totalement ouvert et configurable : **position, vitesse et couple**
- ✓ **Richesse de la mécanique** des têtes d'enroulage (Trancannage)
- ✓ Logiciel **MotionLab** du constructeur **Ingenia Motor Systems** interface de la configuration de la carte de contrôle avec oscilloscope sur de nombreuses données. Logiciel développé en partenariat avec l'université de Barcelone
- ✓ **Mise à jour gratuites** et régulières du logiciel **MotionLab** et des « **firmwares** » de la carte de commande (corrections des bugs et améliorations)

CPGE

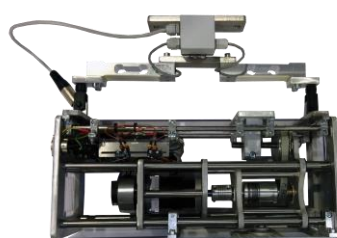
Enseignement supérieur

Thématiques abordées

Conception mécanique & Modélisation
Electronique & Electrotechnique
Instrumentation & Asservissement
Informatique



Système « réel » Skycam



Tête d'enroulage WR11



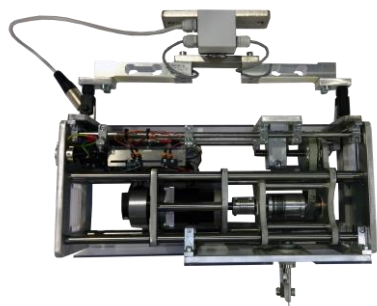
Vue du robot à câbles avec 2 têtes d'enroulages



WR10 : Plate-forme de Robot à câbles

La machine est constituée principalement de :

- ✓ Châssis pouvant accueillir 1 ou 2 **têtes d'enroulage (WR11)** de câbles
- ✓ Nacelle mobile appelée « effecteur » permettant de **tracer les mouvements sur un tableau quadrillé**
- ✓ Boîtier de commande reprogrammable avec **joystick** équipé de Mbed pour expérimentation et personnalisation de la commande en « **Wall Plotter** »
- ✓ **Coffret** d'alimentation électrique de la machine dans son ensemble
- ✓ **Dynamomètres** et différents **poids** de lestage pour l'étude des efforts en levage
- ✓ **Accroches rapides** pour changement de la charge
- ✓ **Boutons poussoirs, joystick et LED programmables** sur le boîtier Joystick



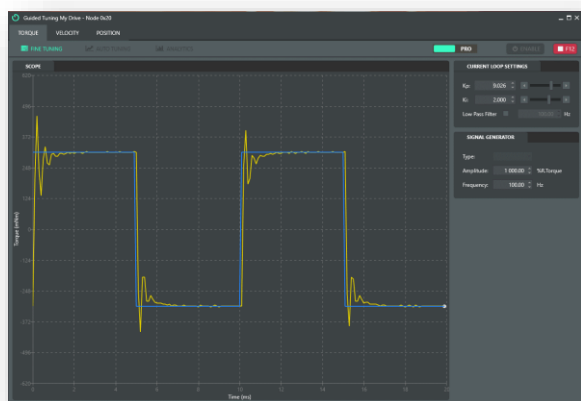
Tête d'enroulement WR11



Joystick de commande programmable Mbed



WR10 équipée de 2 WR11



Outils d'assistant au paramétrage du moteur et de la correction PID

WR11 : Tête d'enroulage avec motorisation brushless

Les têtes d'enroulage WR11 permettent de mettre en mouvement le traceur appelé « effecteur ». Une tête d'enroulage est principalement constituée de :

- ✓ **Système de trancannage** (Enroulement ordonné du câble)
- ✓ **Moteur Brushless** (4800 tr/m, 1 N.m, 5 A) avec codeur sur axe moteur
- ✓ Carte de commande **PLUTO** du constructeur **Ingenia Motor Systems** avec frein résistif (descriptif plus bas)

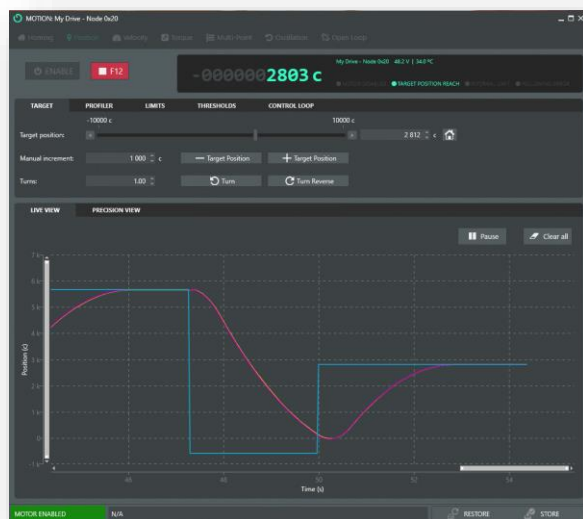


INGENIA

MotionLab logiciel de paramétrage

Logiciel lié à la carte PLUTO disposant de nombreuses possibilités :

- ✓ « Wizard » **assistant de paramétrage** et de configuration pour la commande des moteurs
- ✓ Paramétrage précis et assisté **des boucles d'asservissement sur le PID** et le fonctionnement en boucles fermées
- ✓ Créations de **macros** sur le comportement du moteur commandé
- ✓ Ajout de **capteurs de fin de course** et paramétrage du comportement
- ✓ **Sauvegarde des paramètres** dans la mémoire de la carte
- ✓ Interface **documentée et conviviale**
- ✓ Réglages des **limites et des accélérations**
- ✓ Visualisation graphique poussée monitorée en temps réel sur **plus d'une cinquantaine de données liées aux moteurs** (courant, tension, couple, vitesse, consignes, accélérations, etc.)

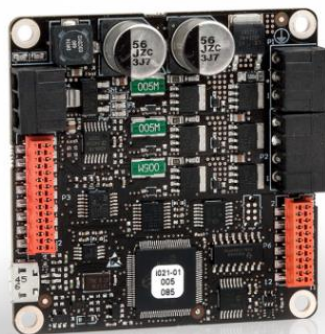


Visualisation et monitoring de nombreuses données mesurées et interprétées en temps réel



Cartes de commande moteur PLUTO (Dans WR11)

- ✓ Gestion de commande moteur sur de **nombreuses technologies** de moteurs Brushless, DC, « Voicecoin » et « Brushless » linéaire
- ✓ Courant délivré **jusqu'à 8 A** (16 A en crête)
- ✓ Alimentation de **10 à 48 VDC**
- ✓ **Communication** en USB sur tous les modèles
- ✓ **CANopen** protocole surcouche sur bus CAN
- ✓ Utilisation de **retours de capteurs sur diverses technologies** : Codeur numérique, effet hall analogiques, effet hall numérique, entrée analogiques, PWM
- ✓ Types de **commandes variées** : Position, Vitesse, Couple, Synchronisée cyclique, En origine
- ✓ **4 Entrées** pour automate programmable & TTL
- ✓ **2 Sorties** pour automate programmable & TTL

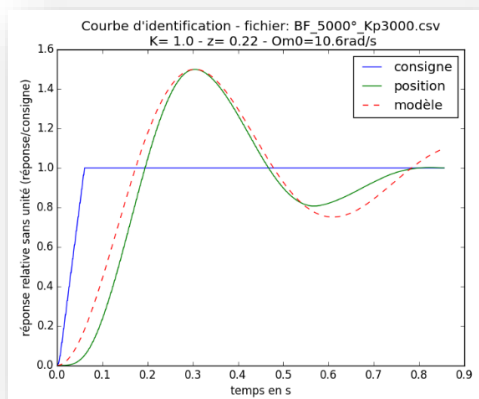
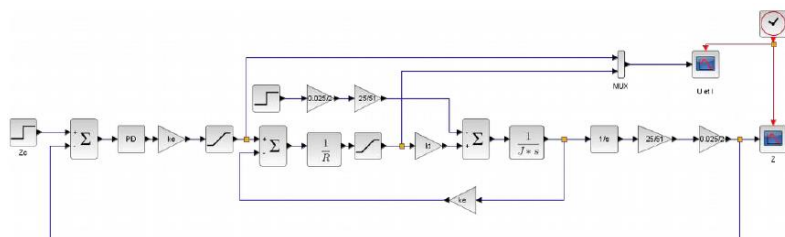


Carte PLUTO du constructeur Ingenia Motion Control

Projets abordés et développements effectués sur la plateforme de développement

La plateforme est livrée avec du code source et différents développements pédagogiques d'ores et déjà effectués sur le produit :

- ✓ Asservissement de la nacelle « effecteur » par **différents types de commande**, programmation avec carte à microcontrôleur **Mbed (CANopen par défaut)**
- ✓ **Simulation Python** des enrouleurs combinés en « Wall Plotter »
- ✓ Commande en **CANopen** des différents enrouleurs combinés
- ✓ Application de **visualisation temps réel** du point central de la nacelle « effecteur »



Activités pédagogiques

Activités développées disponibles:

- ✓ Analyse fonctionnelle **SysML** d'un système de contrôle de trajectoire d'une caméra
- ✓ **Modélisation** de l'asservissement en position d'un treuil (modèle **Scilab/Xcos**)
- ✓ **Analyse et modélisation de l'asservissement en position** d'un treuil (identification expérimentale)
- ✓ Analyse et **optimisation des paramètres de correction de l'asservissement** en position d'un treuil
- ✓ **Optimisation expérimentale** des paramètres d'asservissement via le « wizard » de MotionLab « **Auto-tune** »
- ✓ **Programmation Python et C** avec API « Ingenialink »

Autres activités envisageables (Non développées à ce jour) :

- ✓ **Statique** (Détermination de la direction de traction du câble à partir des deux capteurs d'efforts)
- ✓ **Conception** (Dessin de définition d'une plaque support moteur)
- ✓ Graphe d'états (**Commande en effort avec auto-calibration** pour l'assistance au levage d'une masse variable)
- ✓ Etude du fonctionnement des **moteurs brushless (Courbes de commande de phases)** et comparaison avec les moteurs CC
- ✓ **Etude des capteurs** (Capteurs à effet hall, Codeur incrémental relatif optique, Capteur d'effort par jauge d'extensométrie, Capteur TOR de fin de course)
- ✓ **Génération et optimisation de trajectoires 1D, 2D** de la nacelle compatible avec la motorisation
- ✓ Projet: Développement des asservissements pour les solutions à **1 tête (Assistance au levage)** ou **2 têtes d'enroulage (Positionnement 2D)**
- ✓ Projet: Conception d'une nacelle



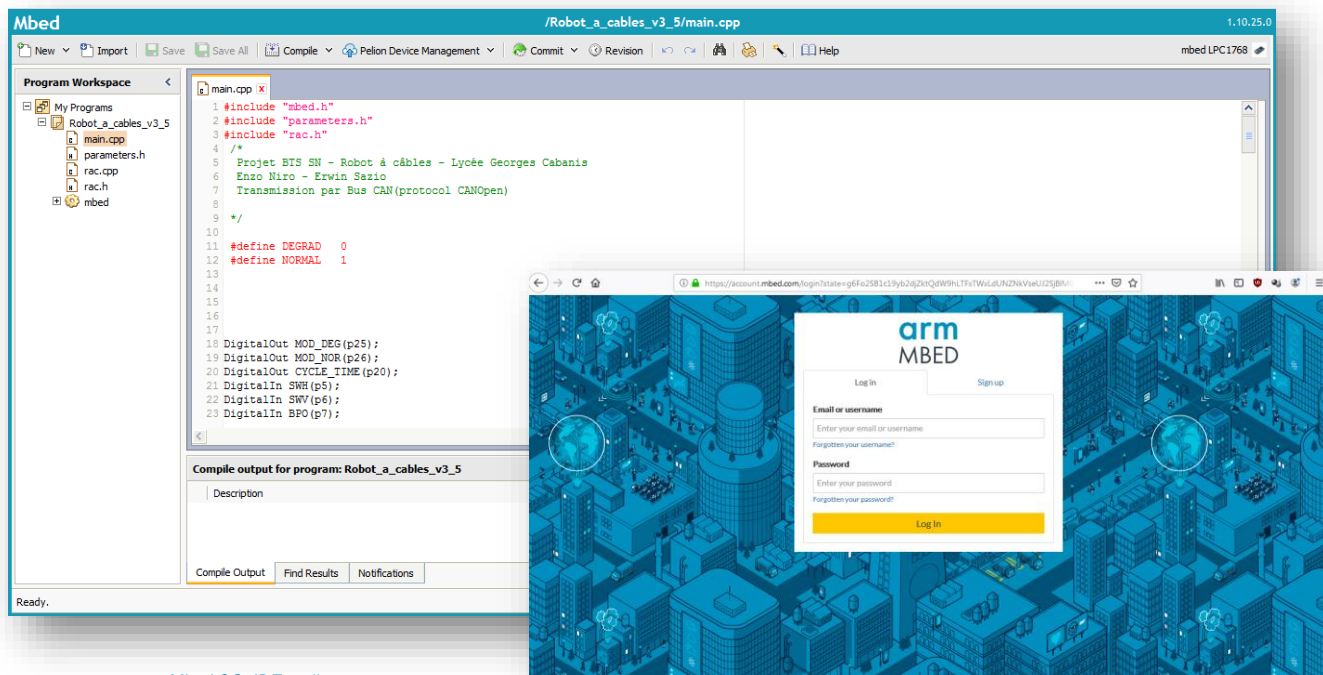
Carte à microcontrôleur Mbed LPC1768

Les microcontrôleurs Mbed sont une série de cartes de développement de microcontrôleurs ARM conçues pour le prototypage rapide disposant des fonctionnalités suivantes :

- ✓ Unité microcontrôleur basée sur NXP LPC1768 (ARM® Cortex™-M3)
- ✓ Fonctionnement à 96 MHz, 32 KB de RAM, 512 KB de mémoire FLASH
- ✓ Communication : Ethernet, USB Host, 2×SPI, 2×I²C, 3×UART, CAN
- ✓ Entrées/Sorties : 6×PWM, 6×ADC, GPIO
- ✓ Alimentation en USB ou 4,5 à 9 VDC
- ✓ Programmeur de FLASH USB intégré en glisser/déposer



Carte Mbed LPC1768



Mbed OS, IDE en ligne

Environnement de développement en ligne « Mbed OS »

Arm Mbed OS est un système d'exploitation gratuit et « open source » en ligne, initialement conçu pour les objets de l'IOT (Internet Of Things).

Il inclut des fonctionnalités nécessaires au développement de produits connectés basés sur microcontrôleur Arm Cortex-M. Notamment sur la sécurité, la connectivité, un OS Temps réel et des pilotes pour les capteurs ainsi que les périphériques d'Entrées/Sorties.

Mbed OS accompagne l'utilisateur avec des logiciels de **gestion de bibliothèques**, des logiciels de **développement « hardware »**, des **tutoriels** et des **exemples de codes** sur diverses technologies :

- ✓ Bluetooth Low Energy dit BLE
- ✓ Wi-Fi, sans fil
- ✓ Réseau « Mesh » 6LoWPAN Sub-GHz, communication radiofréquence bas débit
- ✓ NFC, communication en champ proche
- ✓ Threads, processus
- ✓ LoRa LPWAN, communication radiofréquence bas débit
- ✓ RFID, radio-identification
- ✓ Ethernet
- ✓ Applications mobiles