

Alignement de faisceaux laser et système de diagnostic Cilex-Apollon avec Tango

Mickael PINA, Jean-Luc VERAY, Jean-Luc PAILLARD, Bastien BRETEAU
Laboratoire LULI, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, FRANCE



Cilex-Apollon est une installation laser à haute intensité délivrant des impulsions d'au moins 5 PW sur cibles à la fréquence d'un tir par minute, pour étudier la physique des plasmas (électron et ions) ou les sources à rayons X. En construction, Apollon est une installation de quatre faisceaux laser avec deux chambres d'expérience. Afin de contrôler les caractéristiques du faisceau et son alignement, plus de 75 caméras CCD et 100 moteurs sont répartis dans l'installation et pilotés via le bus Tango. L'acquisition des images et l'affichage sont réalisés à 10 Hz. Différentes opérations sont faites en direct à la même fréquence. D'autres opérations ont lieu en temps différé sur les images archivées. L'alignement du faisceau peut être réalisé manuellement ou automatiquement. Le mode automatique est conçu autour d'une boucle fermée utilisant une matrice de transfert et peut corriger le centrage et le pointage jusqu'à 5 fois par seconde. Cet article présente l'architecture, les fonctionnalités, les performances et le retour d'expérience à l'issue du déploiement sur une maquette de démonstration.

MOTORISATION

Alignement automatique

Pour délivrer 5 PW, le laser Apollon est amplifié 5 fois grâce à des amplificateurs multi-passages (Figure 1). Cette amplification nécessite une grande précision d'alignement et est très sensible aux variations de température. Pour atteindre les meilleures performances des amplificateurs, chacun est équipé d'une boucle d'alignement automatique à l'entrée. Une boucle est composée de 2 miroirs motorisés (M1, M2) et 2 caméras CCD (C1, C2). Le système d'alignement déplace le centroïde jusqu'à 5 fois par seconde.

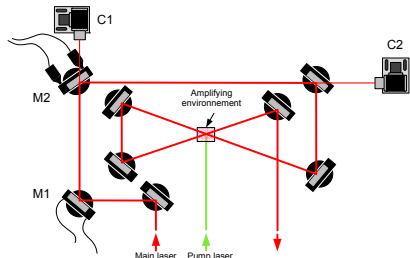


Figure 1 : Amplificateur d'impulsions laser

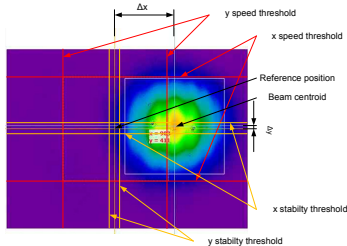


Figure 2 : paramètres d'alignement

Différents paramètres sont nécessaires pour améliorer l'alignement :

- une **zone de stabilité**, autour de la position de référence, améliore la stabilité de l'alignement,
- les deux vitesses de déplacement du moteur améliorent le temps de répondre en conservant une bonne précision. Le changement de vitesse a lieu lorsque le faisceau est hors du **seuil de vitesse**.

Contrôle manuel

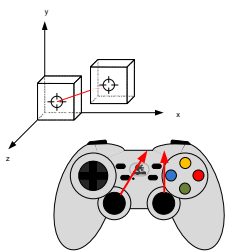


Figure 3 : contrôle des moteurs par gamepad

Les moteurs peuvent également être pilotés manuellement à l'aide d'un gamepad. Les avantages sont :

- **simplicité d'utilisation** : une simple utilisation des joysticks et un clic sur le bouton de vitesse fera déplacer les moteurs à la vitesse souhaitée (petite, grande, pas à pas).
- **praticité** : il est possible de contrôler 4 moteurs simultanément. Ainsi, une cible peut être déplacée dans un espace à 3 dimensions.
- **économique** : les gamepads sont standards
- **pérennité** : la compatibilité de plusieurs types de gamepads est assurée par la bibliothèque python *pygame*.

Une autre façon de piloter un moteur est l'utilisation d'une Interface Homme-Machine (IHM). Cette application permet de :

- déplacer un moteur, en cliquant sur les boutons
- sélectionner un moteur contrôlé par le gamepad
- changer les paramètres moteur
- contrôler la boucle d'alignement

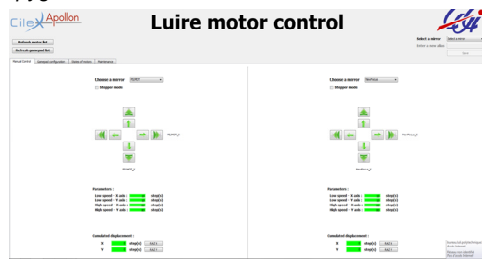


Figure 4 : IHM de contrôle des moteurs

SYSTÈME D'ACQUISITION D'IMAGES

Acquisition et calculs

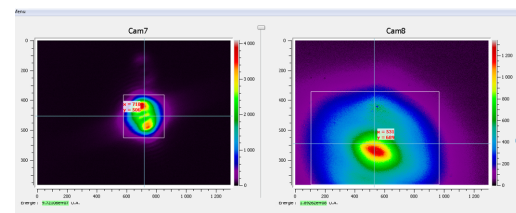


Figure 5 : interface d'acquisition des images

Le programme de calculs extrait les caractéristiques du faisceau. Il utilise les images pour définir :

- le centroïde du faisceau
- le barycentre du faisceau
- l'énergie du faisceau
- les dimensions du faisceau
- les images binarisées du faisceau

Une alarme est également activée lorsque le centroïde s'écarte d'une zone circulaire de sécurité, définie par l'utilisateur.

L'acquisition des images se base sur la bibliothèque Lima. Développée en C++, elle est compatible avec plusieurs types de caméras Giga Ethernet. L'acquisition doit :

- fonctionner à 10Hz (laser),
- acquérir des images de différentes tailles (1600x1200, 1296x966, 640x480),
- avoir une résolution de 16 bits. (imposé par Lima)

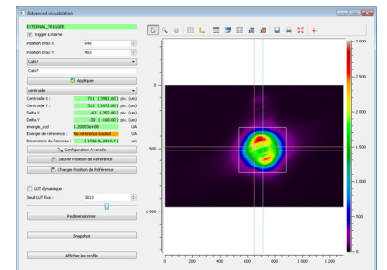


Figure 6 : vue avancée de l'IHM

Serveur d'images

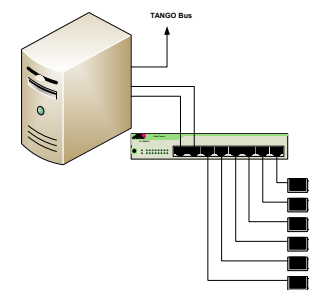


Figure 7 : architecture matériel d'un serveur d'images

Le système d'acquisition d'images se compose de plusieurs serveurs (Figure 7). Un serveur d'images est un PC relié à 6 caméras CCD et équipés des device servers d'acquisition d'image et de calculs (pour éviter une surcharge réseau).

Pour relier tant de caméras à un PC il est nécessaire de les séparer en deux sous-réseaux (l'agrégation de lien n'est pas supportée par le driver caméra). Il est possible d'employer 8 caméras par serveur mais le processeur du serveur central est sollicité à plus de 90%. Un compromis entre coût et fiabilité amène à ne relier que 6 caméras par serveur.

Chiffres clés :

- 1 CPU, 4 coeurs, 8 GB RAM
- 3 interfaces réseau
- 2 liens Gigabit Ethernet
- 6 CCD cameras par serveur
- 10 frames par second par caméra
- 16 bits images
- CPU utilisée à 70% de sa capacité
- lien Ethernet utilisé 70% de sa capacité (video)

ARCHITECTURE LOGICIELLE

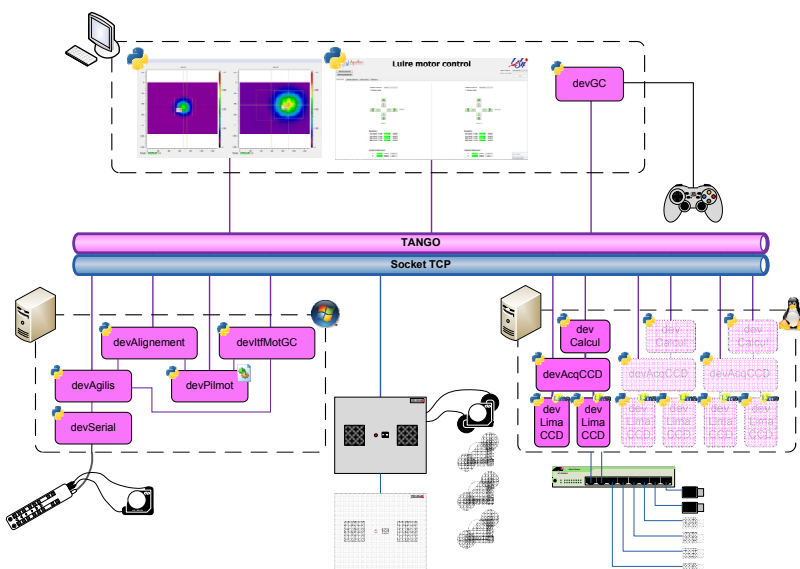


Figure 8 : architecture logicielle de la boucle d'alignement

La Figure 8 présente l'architecture logicielle de la boucle d'alignement du système. Un PC exécute les Device Servers Tango pour les moteurs, pour l'alignement, pour le lien entre moteurs et gamepad. Un autre PC acquiert les images (serveur d'images) tandis qu'un troisième sert pour afficher les IHM et relier le gamepad USB.

Les programmes de contrôle-commande Apollon sont développés en Python et sont basés sur le bus logiciel Tango. Ce dernier permet de :

- avoir un **système de contrôle-commande distribué**
- être compatible avec différents systèmes d'exploitation (Windows ou Linux)
- **s'abstraire du matériel** :
 - aujourd'hui, il est possible d'utiliser 3 types de moteurs sans même changer l'architecture
 - aussi, l'utilisation de caméras CCD Giga Ethernet ou FireWire est rendu possible grâce à un simple changement de driver (devLimaCCD or dev1394)
- bénéficier de **nombreux outils TANGO** (tel que Astor, Figure 9, qui permet de démarrer, arrêter et superviser chaque Device Server Tango)



Figure 9 : device de gestion Astor