

BRAS MANIPULATEUR ROBOTISÉ

FICHE N° 1549

PRÉSERVER
SAUVEGARDER
VALORISER

Période de fabrication : 2000-2024

Fabricant : KUKA Roboter GmbH

Domaines : Physique

Sous-domaines : Robotique

Organisme : Centre national de la recherche scientifique (CNRS)

Ville : Toulouse

Modèle : LBR 4

Matériaux : Aluminium, Acier, Composants électroniques

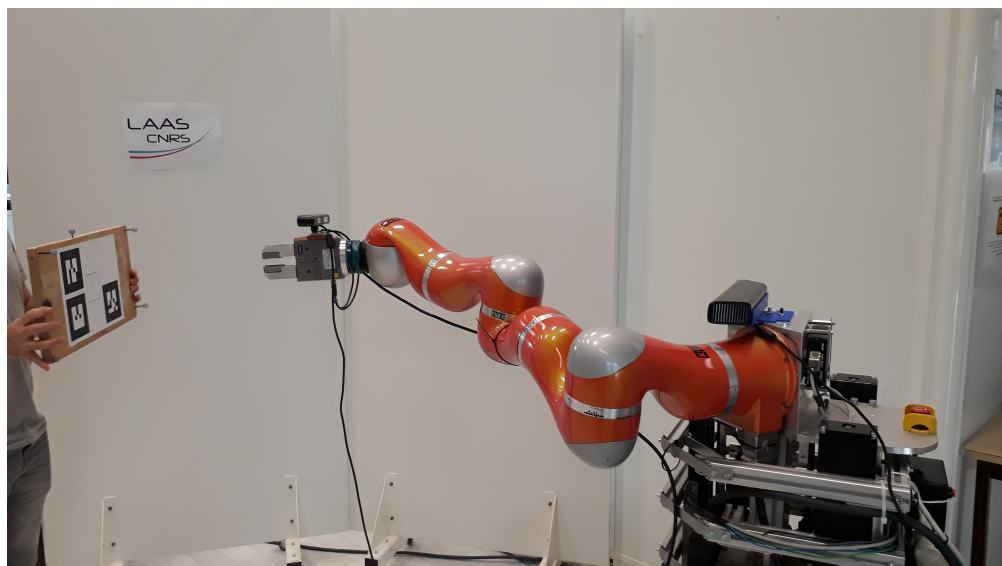
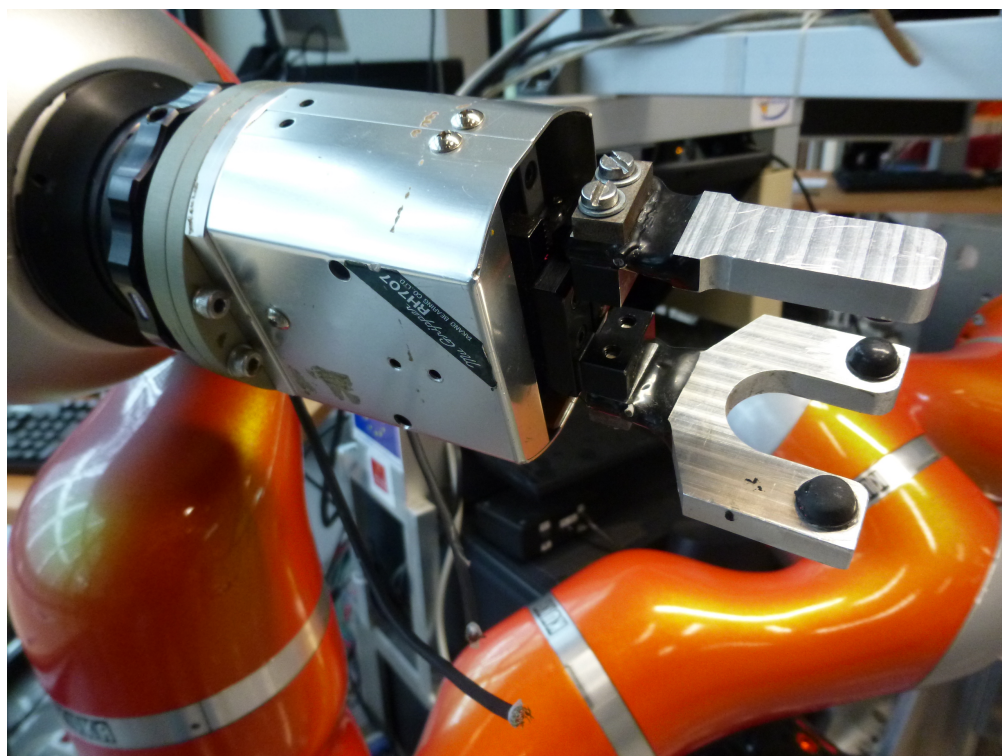
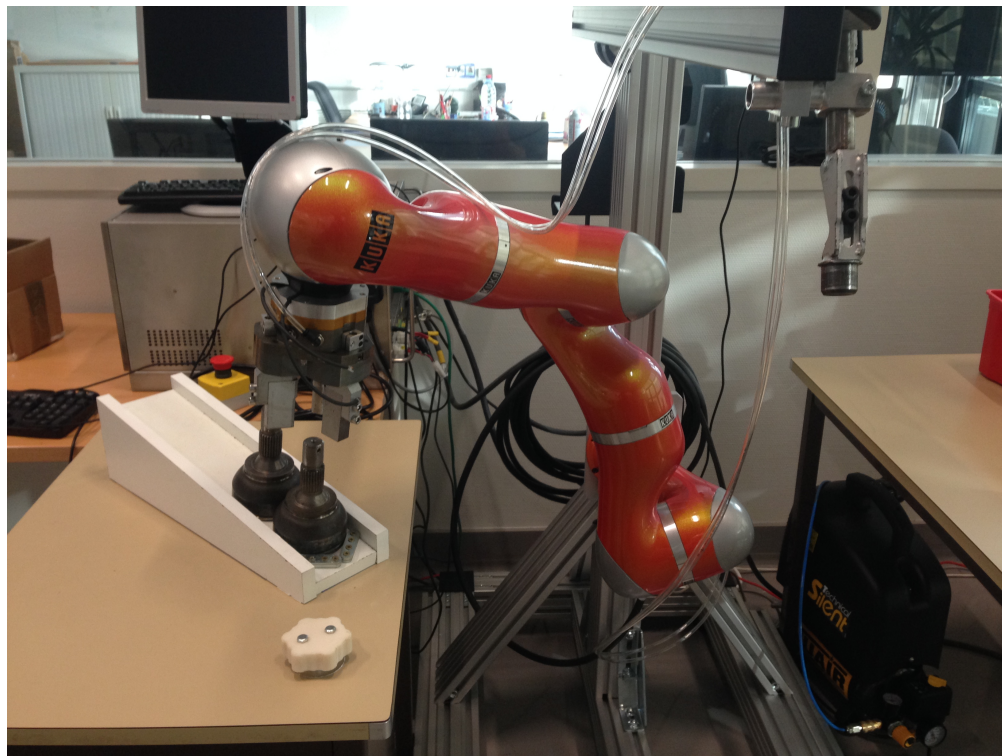
Description

Le bras manipulateur robotisé orange KUKA du LAAS-CNRS (Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes) est un exemplaire de pré-série du KUKA/DLR Light Weight Robot (LWR), un bras robotique à 7 degrés de liberté né d'une collaboration entre le DLR (centre aérospatial allemand), qui en a conçu la technologie initiale au tournant des années 2000, et l'industriel allemand KUKA, qui en a assuré l'industrialisation à partir de 2004 sous la dénomination commerciale LBR (Leichtbauroboter, littéralement « robot léger »). Sa couleur orange, caractéristique des toutes premières séries commercialisées (une centaine d'exemplaires environ, destinés essentiellement à la recherche), permet de le distinguer des générations ultérieures du même bras (LBR 4+, puis LBR iiwa à partir de 2013), qui ont progressivement changé d'habillage. Contrairement aux bras industriels classiques des années 2000, uniquement asservis en position, ce bras a été conçu pour la commande en effort : chaque articulation intègre un double capteur de position et de couple qui mesure la déformation mécanique de l'articulation pour en déduire l'effort exercé (à l'échelle d'une articulation, il s'agit à proprement parler d'un couple, puisqu'il s'agit d'une liaison pivot ; ce sont bien des forces que l'on mesure et que l'on commande à l'échelle du bras entier). Cette sensibilité lui permet de travailler en contact avec son environnement et d'adapter la trajectoire programmée pour contrôler une force de contact, et donc de travailler à proximité d'un humain sans la cage de protection indispensable aux robots industriels classiques. Ses sept axes rotatifs, redondants par rapport aux 6 degrés de liberté théoriquement nécessaires pour atteindre une position dans l'espace, lui permettent de replier ou déplacer son coude pour éviter un obstacle tout en gardant l'organe terminal immobile, à la manière d'un bras humain. Toute l'électronique de commande est intégrée dans les articulations elles-mêmes : seuls un câble d'alimentation et un câble réseau parcourent le bras, une armoire de contrôle industrielle déportée assurant le pilotage de l'ensemble. La réduction de vitesse entre chaque moteur et l'axe de sortie correspondant est assurée par des réducteurs Harmonic Drive, une technologie à couronne déformable héritée des années 1950 qui permet d'obtenir un rapport de réduction élevé et un jeu mécanique quasiment nul, condition indispensable à une commande en effort précise. Cette précision a toutefois un coût : la couronne du réducteur, sujette à une déformation cyclique à chaque rotation, peut développer avec le temps des microfissures liées à un phénomène de fatigue mécanique, comparable à celui qui affecte les structures aéronautiques soumises à des sollicitations répétées. Les cartes électroniques développées spécifiquement pour intégrer capteurs, alimentation et communication au plus près de chaque articulation partagent cette même fragilité, ce qui a rendu le bras particulièrement sensible aux pannes au fil de son utilisation au laboratoire. Les tout premiers prototypes développés par le DLR étaient réalisés en fibre de carbone, un matériau offrant un rapport poids/puissance si favorable que le bras pouvait soutenir son propre poids, voire se hisser le long d'une échelle (démonstration KUKA au salon Automatica, 2006). Ce mouvement suppose de soulever 16 kg, soit sa propre masse, bien au-delà de la charge utile nominale de 7 kg : cette valeur correspond à un usage continu et à un travail en bout de bras, et elle peut être ponctuellement dépassée en choisissant des mouvements qui sollicitent moins les articulations, en limitant les accélérations et en ménageant des pauses de refroidissement. Le constructeur ne documente pas l'usure induite par ce régime. Ce choix s'est toutefois révélé problématique à l'usage : la fibre de carbone est un excellent isolant thermique, ce qui empêchait l'évacuation de la chaleur dégagée par les moteurs et les cartes électroniques embarquées dans chaque articulation. Les générations suivantes ont donc basculé vers une structure en aluminium, moins performante en rapport poids/puissance mais bien plus efficace pour dissiper la chaleur. Le prix de ce type de bras a fortement évolué depuis son lancement commercial : les tout premiers exemplaires se négociaient autour de 110 000 €, un tarif comparable à celui de son unique concurrent de l'époque, le bras à retour d'effort du fabricant américain Barrett, jamais réellement industrialisé au-delà de quelques exemplaires de laboratoire. Le prix du

LWR/LBR est ensuite redescendu à environ 70 000 €, avant que des concurrents plus récents, moins sophistiqués et donc moins onéreux (de l'ordre de 20 000 à 36 000 € selon les fournisseurs, dont le bras collaboratif Universal Robots — qui ne dispose toutefois que de 6 degrés de liberté et n'est pas conçu pour un usage aussi proche de l'humain), ne viennent occuper le segment d'entrée de gamme. Les bras collaboratifs actuels, y compris les nombreux modèles chinois, dérivent largement des technologies inaugurées par ce bras pionnier.

Utilisation

Le LAAS-CNRS a engagé l'acquisition de deux exemplaires de ce bras à partir de mi-2008, la commande étant finalisée fin 2009 (avec un délai de livraison de 12 semaines annoncé en novembre 2009). Le premier exemplaire est arrivé en janvier 2010 et a été mis en route en février 2010 ; le second, retardé notamment par un prêt consenti au fabricant pour un salon industriel, est arrivé ensuite. L'objectif initial était de constituer un robot mobile à deux bras à partir de la base Jido, une plateforme Neobotix MP-L655 utilisée par le laboratoire depuis le milieu des années 2000. Ce projet de robot à deux bras a toutefois pris du retard, notamment parce que la base mobile n'était pas prioritaire au moment où le robot PR2 est arrivé au laboratoire (décembre 2010) avec ses propres capacités de navigation déjà opérationnelles, ce qui a réorienté une partie des efforts de recherche. Dans les faits, les deux bras n'ont quasiment jamais été utilisés simultanément : l'un des deux exemplaires est tombé en panne peu après sa livraison et a dû être retourné chez KUKA, tandis que l'autre a fait l'objet de prêts à des partenaires extérieurs — un prêt ayant notamment transité jusqu'à Airbus. En échange de ce prêt, le laboratoire a obtenu du fabricant des options logicielles non facturées, dont une licence donnant accès à un mode de communication rapide avec le bras, indispensable pour travailler en effort à l'échelle de la milliseconde. Le bras restant a été monté sur la base Jido, dont le bras d'origine (6 degrés de liberté, main à 3 doigts) avait entre-temps été endommagé, ce qui a redonné une seconde vie à cette plateforme mobile pour des travaux de manipulation et d'interaction homme-robot. Le bras a servi de support à 13 ou 14 thèses de doctorat menées sur la plateforme Jido — aucune n'ayant toutefois exploité les deux bras simultanément, comme le prévoyait le projet initial. Ces travaux ont porté principalement sur la manipulation, la planification de trajectoires au contact et en évitement des humains, et la commande en effort, avec par exemple une démonstration d'ouverture de porte réalisée en coordination avec une autre plateforme. Une main à quatre doigts a été acquise pour équiper le bras, mais un simple préhenseur à deux doigts a le plus souvent été utilisé selon les besoins des expérimentations. Ces recherches se sont appuyées sur l'environnement logiciel GenoM (« Générateur de Modules »), développé au LAAS et reposant sur la bibliothèque de communication temps réel Pocolibs ; avec l'arrivée du PR2 et l'adoption progressive de ROS (Robot Operating System) par la communauté robotique internationale, une partie des développements a ensuite basculé sur cet environnement devenu le standard, tout en conservant GenoM pour certains usages grâce à sa capacité à faire dialoguer plusieurs intergiciels entre eux. L'activité de recherche autour du bras a nettement décliné après la soutenance de la dernière thèse à l'avoir mobilisé intensivement (Kevin Desormeaux, fin 2019, sur la génération de trajectoires pour la manipulation, sous la direction de Daniel Sidobre) ; une tentative de reprise par une autre équipe du laboratoire n'a pas abouti, faute des développements logiciels nécessaires. Après une quinzaine d'années de service au LAAS (2010-2023 environ), les deux exemplaires ont été transférés au LIRMM ((Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier), le laboratoire n'en ayant plus l'usage : l'un des deux est cassé et sert de réserve de pièces détachées, l'autre serait toujours utilisé par les équipes montpelliéraines pour des travaux de commande en effort, après une reprise complète du contrôle bas niveau du bras.





Pour nous citer :

Base de la Mission nationale de sauvegarde et de valorisation du patrimoine scientifique et technique contemporain, PATSTEC, Bras manipulateur robotisé (KUKA Roboter GmbH), <https://www.patstec.fr/ressources/objets/detail?id=8304>, consulté le 2026-10-20