



Rapport bibliographique

Projet Lumière

BELLEC Gwendal
FERCHICHI Mortadha
HERRERO Valentin

DÉPARTEMENT INFORMATIQUE

Spécialité Robotique

S9

Septembre 2023 - Février 2024

Encadrement : PADOIS Vincent (Directeur de recherches INRIA), JOSEPH Lucas

Résumé

Le rapport se divise en trois parties principales : l'étude des bras surnuméraires, la cinématique inverse sous contraintes, et la détection de cible et poursuite.

Dans la première partie, l'étude des bras surnuméraires met en lumière leur contribution significative à la robotique, avec des applications diverses telles que la robotique d'assistance. Les bras robotiques portables sont intégrés de manière novatrice pour répondre à des besoins spécifiques, mais la sécurité reste une préoccupation majeure. Des avancées technologiques, telles que des capteurs avancés et des algorithmes de planification de mouvements, sont déployées pour garantir une cohabitation sûre entre les robots et les travailleurs humains.

La deuxième partie aborde la cinématique inverse sous contraintes, soulignant l'importance de la sécurité et de la précision. La délimitation de la zone réservée à l'humain est explorée, tout comme l'intégration de normes strictes. Des considérations ergonomiques, psychosociales et la prise en compte des "démons" identifiés par Endsley dans l'étude contribuent à assurer la sécurité physique et psychosociale des opérateurs dans des environnements collaboratifs.

Enfin, la troisième partie se concentre sur la détection de cible et la poursuite. La détection de mains est simplifiée par l'utilisation de codes QR distincts sur chaque main, offrant des repères visuels uniques. La détection de QR codes est détaillée, exploitant la bibliothèque OpenCV pour une solution robuste. La poursuite de cible mobile, réalisée avec des caméras Pan-Tilt-Zoom, souligne l'importance de considérer les délais des actionneurs et des algorithmes pour un suivi efficace.

Dans l'ensemble, le rapport met en avant l'importance de l'innovation dans les bras surnuméraires, la nécessité de garantir la sécurité dans la cinématique inverse, et les défis et solutions liés à la détection de cible et à sa poursuite dans des environnements collaboratifs.

Table des matières

1	Étude des bras surnuméraires	5
1.1	Robotique d'assistance	5
1.2	Sécurité Homme/Machine	7
1.3	Travaux Connexes	9
2	Cinématique inverse sous contraintes	11
2.1	Sécurité et Précision	11
2.2	Délimitation de la zone réservée à l'Homme	11
3	Détection de cible et poursuite	13
3.1	Détection de mains	13
3.2	Détection de QR codes	14
3.3	Poursuite de cible mobile	15

Table des figures

1	Universal Robot	5
2	Schéma des 8 "démons" de Endsley	8
3	Mouvements du robot consistant à éviter les boîtes de délimitation tout en satisfaisant les consignes de vitesse	9
4	Cobot Kinova	11
5	Bounding box propres à l'humain	12
6	Schéma des QR codes sur les mains de l'opérateur	13
7	Structure d'un QR code	14
8	Délais intrinsèques à la PTZ Axis 233D	16

Introduction

La robotique représente un enjeu stratégique grandissant dans de nombreux domaines d'activités tant son apport peut permettre un gain de productivité. L'aide robotisée peut être tout à fait indépendante de l'humain comme être en collaboration avec celui-ci, on parle alors de cobots. Ces derniers sont donc naturellement soumis à des contraintes supplémentaires en particulier de sécurité pour ne pas atteindre à la santé des humains avec lesquels ils sont amenés à évoluer.

Le projet en question propose de s'intéresser à la problématique de l'éclairage d'une zone d'intérêt dans le cadre de travaux manuels, donc pour le compte d'un ouvrier qui souhaiterait travailler dans de parfaites conditions de luminosité. L'intérêt est porté sur l'éclairage constant de la zone occupée par les mains de l'utilisateur. Cette problématique soulève la nécessité d'avoir une représentation en temps réelle de la scène par le biais d'une caméra, ainsi que de pouvoir guider une lumière vers la zone occupée par les mains de l'ouvrier, et ce par le biais d'un bras articulé qui serait fixé sur l'épaule ou une autre partie de l'utilisateur. Un autre enjeu est de pouvoir suivre les mouvements de mains de l'utilisateur grâce à la caméra, et de pouvoir les anticiper de sorte à pouvoir asservir le faisceau lumineux afin qu'il puisse suivre fidèlement les mouvements de mains de l'utilisateur. Enfin il est primordial de s'intéresser aux questions de sécurité, car le bras articulé ne doit pas entrer en collision directe avec l'utilisateur.

Certains projets existants possèdent des similitudes avec celui traité notamment par l'utilisation de bras surnuméraire terminé par un effecteur (souvent une autre main) et directement installé sur l'utilisateur lui-même. Ces projets sont souvent plus complexes notamment lorsqu'il s'agit de pouvoir imiter les gestes d'une main humaine, et dépasse donc largement la complexité du projet dont il est question.

Les contributions dont ce rapport s'inspire permettent d'apporter des pistes vérifiées afin de faire avancer le projet de la manière la plus efficiente possible. Ce rapport propose ainsi de faire l'état de l'art des connaissances ayant un intérêt central quant à l'avancement du projet. Il sera donc question d'évoquer les bras surnuméraires, la cinématique inverse, ainsi que la détection de cibles et leur suivi.

1 Étude des bras surnuméraires

Les bras surnuméraires représentent une avancée significative dans le domaine de la robotique, car ils offrent des extensions robotiques qui dépassent les limites des capacités humaines. Ces dispositifs innovants ont trouvé un large éventail d'utilisations, notamment dans le domaine médical [6], de l'ergonomie [7] et même de la protection des personnes [3]. Ces progrès sont amenés à changer complètement la façon dont nous abordons les défis humains, offrant des solutions inventives et améliorant la qualité de vie.

1.1 Robotique d'assistance

La robotique d'assistance émerge comme un domaine dynamique, offrant des solutions innovantes pour améliorer la productivité industrielle tout en préservant la santé des travailleurs. Son expansion significative, ouvre la voie à des applications variées dans l'industrie. La convergence de la technologie robotique et de l'intelligence artificielle permet la création de systèmes collaboratifs, connus sous le nom de cobots. Ces cobots sont conçus pour travailler en tandem avec les travailleurs humains, améliorant ainsi l'efficacité globale des opérations tout en assurant la sécurité et le bien-être des employés. La Figure 1 montre un cobot particulièrement reconnu dans le secteur de la robotique.

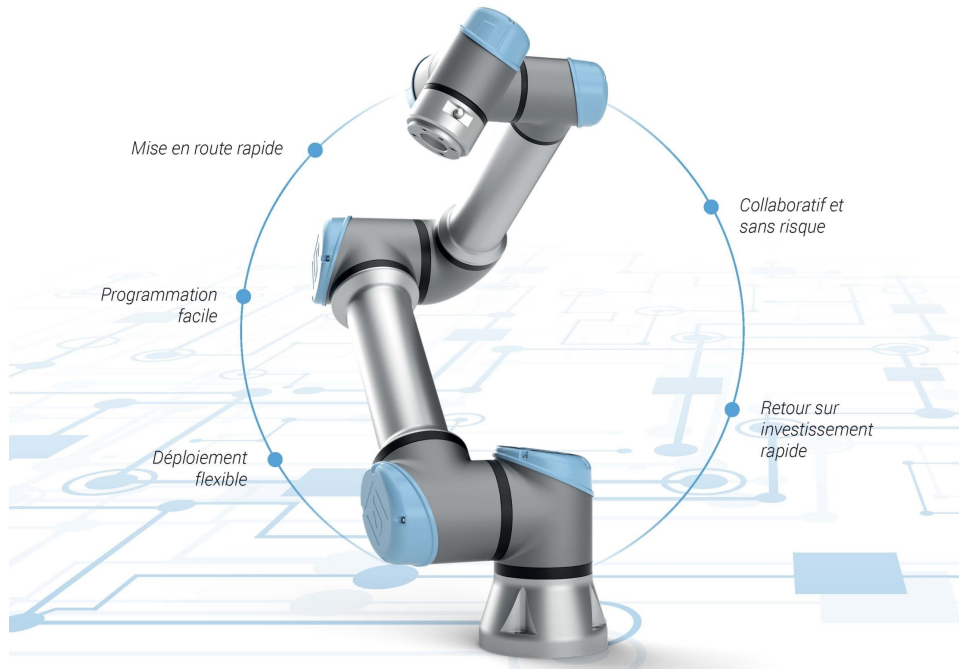


FIGURE 1 – Universal Robot

La typologie des cobots, définie dans le cadre du projet, identifie quatre catégories principales. La téléopération implique le contrôle à distance du robot par un opérateur humain. La colocalisation collaborative permet une coexistence physique étroite entre le robot et l’opérateur humain. La comanipulation implique une manipulation conjointe d’objets entre le robot et l’humain, tandis que l’exomanipulation explore les capacités d’exécution autonome du robot en suivant les directives humaines. Chacune de ces catégories représente une facette unique des interactions complexes entre l’Homme et la machine.

Une approche novatrice dans le projet consiste à intégrer des bras robotiques portés par l’utilisateur. Ces dispositifs offrent une flexibilité accrue et s’adaptent à des situations spécifiques, élargissant ainsi le champ d’application de la robotique d’assistance. Chaque système de bras robotique portable est conçu pour répondre à des besoins particuliers, démontrant la diversité des solutions dans ce domaine en constante évolution.

La robotique d’assistance fait face à divers défis, notamment la nécessité de garantir une intégration fluide entre les robots et les travailleurs humains, ainsi que la prise en compte de la sécurité dans des environnements de travail dynamiques. Les solutions émergentes visent à relever ces défis, avec des avancées régulières pour répondre aux exigences croissantes de l’industrie. Lorsqu’il s’agit d’intégrer des bras robotiques dans des environnements de travail collaboratifs, la gestion des risques devient une préoccupation majeure. La sécurité des opérateurs humains est une priorité absolue, et des mécanismes sophistiqués sont nécessaires pour prévenir les collisions potentielles entre les parties du corps humain et les bras robotisés. Des capteurs avancés, tels que des capteurs de proximité et des systèmes de vision, sont déployés pour surveiller en temps réel la position de l’opérateur et du robot. Ces capteurs permettent de détecter toute approche imminente, déclenchant ainsi des arrêts d’urgence ou des ajustements de trajectoire pour éviter les collisions.

De plus, des algorithmes de planification de mouvement prennent en compte la présence humaine et ajustent les trajectoires du bras robotisé en conséquence. Cette approche pro-active contribue à minimiser les risques potentiels et à assurer une cohabitation sûre entre l’opérateur et la machine. Des normes de sécurité rigoureuses sont également mises en œuvre, conformément aux directives industrielles, pour garantir une conception et une utilisation sécurisées des bras robotiques portés par l’utilisateur. Cette combinaison de technologies de détection avancées, d’algorithmes intelligents et de normes de sécurité strictes vise à créer un environnement de travail collaboratif où les risques pour la sécurité humaine sont réduits au minimum, permettant ainsi une intégration harmonieuse et sûre de la robotique d’assistance.

1.2 Sécurité Homme/Machine

La conception centrée-utilisateur, visant à faciliter la réalisation des objectifs de l'opérateur final en lui offrant la meilleure conscience de situation possible, trouve une application cruciale dans le contexte de la robotique collaborative. En effet, la coactivité homme-robot soulève des questions importantes et entraîne des risques potentiels. Les robots collaboratifs, tout comme n'importe quelle machine, comportent des éléments en mouvement tels que bras, pinces, outils et pièces manipulées, pouvant engendrer des risques d'impacts physiques tels que l'écrasement et le choc, ainsi que des risques spécifiques tels que les brûlures, les intoxications et les vibrations.

En parallèle à ces risques, des contraintes physiques et psychiques peuvent contribuer à des troubles musculosquelettiques, tels que des douleurs aux poignets et au dos, ainsi qu'à des risques psychosociaux, comprenant une surcharge mentale, un isolement, une fatigue et un stress accrus.

La démarche d'intégration des robots collaboratifs exige une prise en compte exhaustive de ces risques par la mise en place de principes techniques accompagnés de mesures organisationnelles. Les normes NF EN ISO 10218-1 et -2 fournissent des principes techniques combinables, dont l'arrêt nominal de sécurité contrôlé, le guidage manuel, le contrôle de la vitesse et de la distance de séparation, ainsi que la limitation de la puissance et de la force du robot en cas de contact.

Ces solutions techniques doivent être complémentées par des solutions organisationnelles, notamment des actions de formation visant le développement de nouvelles compétences, un suivi d'activité pour évaluer l'évolution des sollicitations physiques et psychosociales, et des changements d'organisation tels que l'adaptation du travail demandé, la modification du poste de travail, et le ré-aménagement du travail collectif. Ainsi, une approche intégrée garantit non seulement la sécurité physique des opérateurs, mais également leur bien-être psychosocial dans un environnement de travail collaboratif homme-robot.

Dans le cadre de la conception centrée-utilisateur et de la robotique collaborative, il est essentiel de considérer les "démons" identifiés par Endsley dans l'étude [10] qui peuvent dégrader la conscience de situation. Ces démons (voir Figure 2), au nombre de huit, sont des facteurs susceptibles d'entraîner des erreurs humaines et de compromettre la performance opérationnelle. Il est crucial de les comprendre et de les atténuer dans la conception des interfaces homme-machine (IHM) et des systèmes robotiques collaboratifs :

- Tunnélisation de l'attention (Attentional Tunelling) : Ce démon survient lorsque l'opérateur se focalise intensément sur un problème spécifique, négligeant d'autres paramètres essentiels pour la réussite de la tâche.
- Modèle mental erroné (Errant Mental Model) : Une mauvaise interprétation de

la situation actuelle peut résulter d'inférences inappropriées par rapport aux observations de l'opérateur.

- Hors de la boucle (Out-of-the-Loop) : Cela se produit lorsque le système autonome effectue une tâche complexe et redonne soudainement le contrôle à l'opérateur, qui n'était pas conscient de l'évolution de la tâche.
- Complexité excessive (Complexity Creep) : Lorsqu'un problème survient et implique un grand nombre de systèmes, l'opérateur peut avoir du mal à comprendre la situation, compromettant sa capacité à trouver une solution.
- Saillance mal-placée (Misplaced Salience) : Si l'interface du système dirige l'attention de l'opérateur vers un dispositif particulier au détriment d'autres éléments critiques, cela peut conduire à des erreurs.
- Overdose de données (Data Overload) : Lorsqu'une quantité excessive d'informations doit être gérée dans un contexte exigeant une grande attention ou des contraintes temporelles fortes, cela peut entraîner des erreurs.
- Piège de mémoire requise (Requisite Memory Trap) : Si l'opérateur doit effectuer de nombreuses sous-tâches et en oublie une, cela peut conduire à des erreurs.
- Charge mentale, anxiété, fatigue et stress excessive (Workload, Anxiety, Fatigue, Stress) : Ces facteurs peuvent directement impacter la performance de l'opérateur et contribuer à des erreurs humaines.

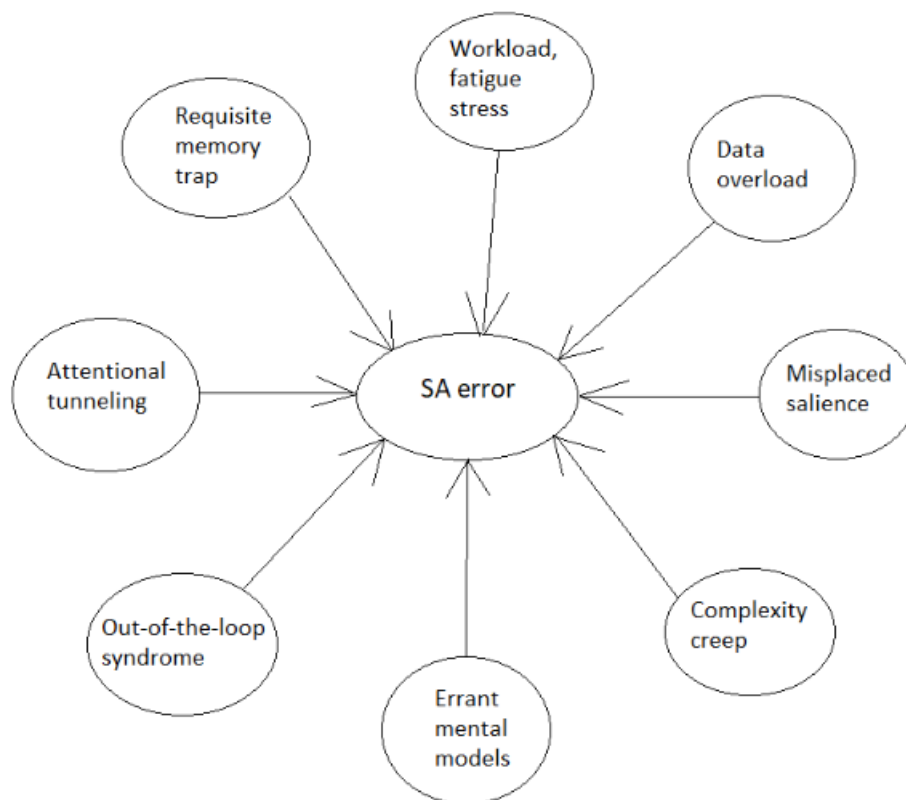


FIGURE 2 – Schéma des 8 "démon" de Endsley

En prenant en compte ces "démons" dans la conception des IHM et des systèmes robotiques collaboratifs, il est possible de minimiser les risques liés à la dégradation de la conscience de situation et d'optimiser la performance globale de l'opérateur dans des environnements complexes et interactifs.

Dans le cas étudié, il faudra être sensible quant à la proximité du bras avec la tête du collaborateur. Il faudra sûrement intégrer des zones de protection, où le robot ne pourra pas aller, ainsi qu'ajuster la vitesse de mouvement du bras comme précisé dans la Figure 3.

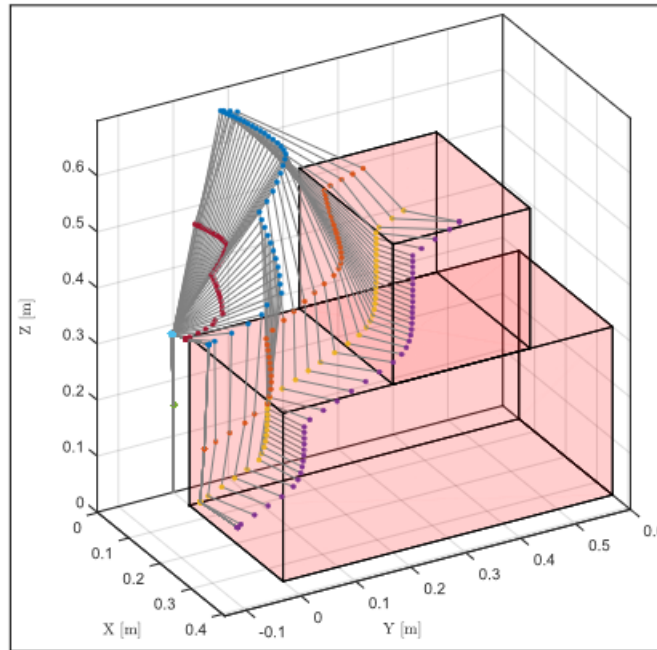


FIGURE 3 – Mouvements du robot consistant à éviter les boîtes de délimitation tout en satisfaisant les consignes de vitesse

1.3 Travaux Connexes

Divers chercheurs ont examiné l'utilisation de Membres Robotiques Surnuméraires (MRS) pour des applications spécifiques. Par exemple, des doigts robotiques supplémentaires, dotés de capacités d'auto-apprentissage et contrôlés par l'utilisateur, ont été développés dans le contexte de la rééducation physique pour faciliter des activités essentielles comme la saisie d'objets. Les comportements de préhension de base, considérés par certains chercheurs comme une exigence fonctionnelle fondamentale pour la manipulation, ont considérablement été améliorés par ces extensions de la main humaine comme le montre [1].

L'étude [2] a exploré l'utilité des MRS dans la coordination, en stabilisant une pièce pendant le perçage. Une autre étude [3] s'est concentrée sur une stratégie de contreventement utilisée par les MRS pour réduire les charges statiques dans des tâches physiquement exigeantes.

2 Cinématique inverse sous contraintes

La cinématique inverse - consistant à déterminer les angles des articulations nécessaires pour atteindre une position et une orientation spécifiques de l'extrémité du robot - doit être étudiée avec rigueur dans le cadre de la cobotique car certaines solutions à une position finale de l'effecteur ne sont pas compatibles avec la position dans l'espace de l'humain, ce qui entraînerait un contact pouvant mener à une blessure de l'utilisateur.

2.1 Sécurité et Précision

La conjonction harmonieuse de la précision et de la sécurité est d'une importance cruciale comme le montre l'étude [5], en particulier lorsqu'il s'agit de systèmes robotiques complexes. Dans le domaine de la cinématique inverse, la capacité à déterminer avec une grande précision les positions des articulations en fonction de l'objectif de l'effecteur est essentielle pour garantir des performances de précision optimales, et éviter tout risque de collision comme cela pourrait être le cas dans la Figure 4.



FIGURE 4 – Cobot Kinova

2.2 Délimitation de la zone réservée à l'Homme

Un peu comme dans le secteur du jeu-vidéo où il est nécessaire de définir la notion de *hit box* pour délimiter la modélisation physique d'un objet virtuel au sein de son environnement virtuel, il est ici nécessaire de définir des *bounding box* afin de définir une "zone interdite" pour tout ou partie du bras, de sorte à minimiser au maximum les risques de collision dans le respect des cas de figure définis auxquels l'humain doit se conformer en parallèle, afin que le robot et l'humain puisse travailler en collaboration

en ayant chacun leur espace de travail délimité et qui leur est propre. Cela est particulièrement bien décrit dans la Figure 5 avec les bounding box vertes qui délimitent l'espace physique occupé par l'humain.

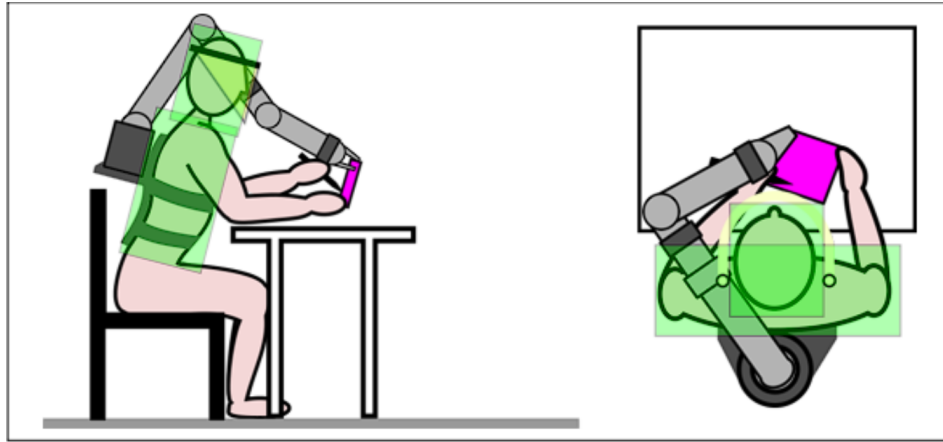


FIGURE 5 – Bounding box propres à l'humain

Les notions de vitesse d'exécution des mouvements sont également des données à prendre en compte pour ne pas risquer de blesser l'utilisateur. Cela doit respecter des normes ISO strictes quant aux forces maximales que les cobots peuvent appliquer, et ce pour éviter toute blessure au collaborateur humain. Par exemple la norme ISO 10218-1 :2001 spécifie que l'effecteur terminal du cobot ne doit pas excéder une vitesse de 0,25 m/s dans le référentiel terrestre.

3 Détection de cible et poursuite

Cette section se focalise sur la détection de cible et sa poursuite, abordant des aspects cruciaux tels que la détection de mains, la détection de QR codes, et la poursuite de cible mobile. Il s'agira de proposer une approche pour la détection de mains mettant en lumière les défis inhérents à ce domaine grâce à une solution basée sur l'utilisation de QR codes. En outre, la Détection de QR codes sera vue en détail, car elle représente une méthode intéressante pour le suivi des mains. Enfin, nous aborderons la complexité de la Poursuite de cible mobile, en mettant en évidence des éléments critiques tels que le délai des actionneurs et les considérations liées à l'utilisation de caméras Pan-Tilt-Zoom (PLT) pour garantir un suivi efficace.

3.1 Détection de mains

L'état de l'art dans la détection de mains par caméra révèle plusieurs défis, notamment la complexité de l'environnement et la nécessité d'une précision accrue. Dans le cadre d'une approche simplificatrice, il a été choisi d'exploiter la facilité d'utilisation et la robustesse des codes QR pour simplifier la tâche de détection des mains. En plaçant des QR codes distincts sur chaque main, des repères visuels uniques sont créés et permettent une localisation précise dans l'espace tridimensionnel. Cette approche présente plusieurs avantages, notamment la réduction des erreurs de détection liées à des facteurs tels que l'occlusion, l'éclairage variable ou les changements d'arrière-plan. Les QR codes agissent comme des marqueurs fidèles, facilitant ainsi le processus de localisation et offrant une solution plus fiable pour suivre et détecter les mains dans des conditions diverses. Cette stratégie simplificatrice vise à optimiser la performance de la détection de mains par caméra en tirant parti de la simplicité et de l'efficacité des QR codes comme repères visuels distinctifs sur chaque main.

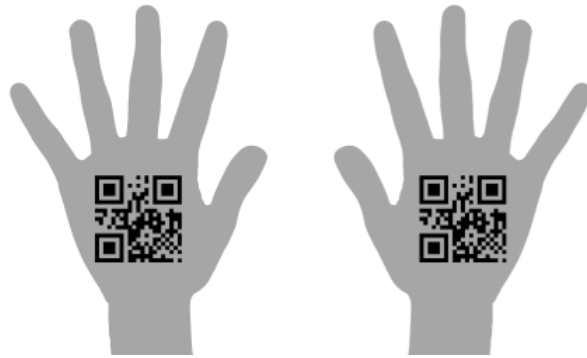


FIGURE 6 – Schéma des QR codes sur les mains de l'opérateur

3.2 Détection de QR codes

Le code QR, également connu sous le nom de *code à réponse rapide*, constitue une forme évoluée de code-barres bidimensionnels en conformité avec la norme ISO/IEC 18004 :2006 (révisée en 18004 :2015). Sa génération implique le suivi de protocoles spécifiques, qui sont également employés lors du processus de décodage. Bien que la création d'un code QR soit relativement simple, le véritable défi réside dans sa reconnaissance précise et rapide. L'extraction d'informations à partir d'un code QR dans des environnements du monde réel implique trois étapes essentielles : la localisation, le prétraitement de l'image, et enfin, le décodage.

La phase de localisation se concentre sur la détection précise d'un code QR et de ses coordonnées exactes au sein d'une image. Quant au prétraitement de l'image, il s'agit d'une étape intermédiaire où l'image du code QR détecté est optimisée pour réduire le flou, le bruit, la distorsion, la perspective angulaire, etc., garantissant ainsi un décodage précis. La dernière étape, le décodage, repose sur l'architecture standard du code QR pour extraire les informations et les données nécessaires.

La structure du code QR est donnée par la norme ISO/IEC 18004 qui définit le symbole du code QR comme ayant une structure générale qui comprend, en plus des données, des informations de version et des mots de code de correction d'erreur, les régions suivantes :

- une zone silencieuse autour du symbole
- 3 motifs repères (FIP) dans les coins
- 2 motifs de synchronisation (TP) entre les motifs repères
- N motifs d'alignement (AP) à l'intérieur de la zone de données, comme illustré ci dessous.

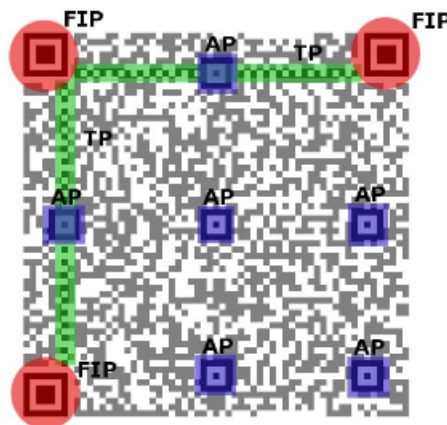


FIGURE 7 – Structure d'un QR code

La détection précise, rapide, et en continue des codes QR représente une étape cru-

ciala pour suivre et anticiper les mouvements de mains de l'opérateur. Pour ce faire, une solution efficace est d'utiliser la bibliothèque OpenCV, une puissante bibliothèque open-source dédiée à la vision par ordinateur. OpenCV offre des outils robustes pour la détection d'objets et la manipulation d'images, ce qui en fait un choix idéal pour la détection de QR codes.

En utilisant OpenCV, les étapes de localisation, prétraitement de l'image et de décodage sont simplifiées, permettant une intégration efficace de la détection de QR codes pour le suivi des mains. Cette approche offre une solution fiable, même dans des conditions variables telles que l'occlusion, l'éclairage changeant, ou les arrière-plans fluctuants.

En adoptant cette méthode, il sera possible de repérer les QR codes placés sur chaque main de l'opérateur, fournissant ainsi des repères visuels uniques pour une localisation précise dans l'espace tridimensionnel, et contribuant ainsi à l'efficacité globale du suivi des mains dont il est question dans la partie qui suit.

3.3 Poursuite de cible mobile

Le suivi de cible est une discipline parallèle de la détection d'objets qui n'en est pas moins tout aussi importante. En effet, la majorité des caméras ont un champ de vision limité, et toute mauvaise anticipation du mouvement d'un objet pourrait entraîner une sortie de l'objet du champ de vision de la caméra, ce qui selon le contexte peut avoir des conséquences désastreuses. Dans notre contexte, une telle erreur ne serait pas catastrophique mais entraînerait une perte d'éclairage de la zone de travail pour l'ouvrier ce qui constituerait une défaillance de fonctionnement du système quant à la tâche qui lui est demandée. Tout suivi de cible implique par ailleurs la possibilité pour la caméra de pouvoir effectuer des rotations selon les axes d'intérêt. Pour cela il est commun d'utiliser un type de caméra standard appelé Pan-Tilt-Zoom (PTZ) qui ont pour avantage de pouvoir pivoter horizontalement et verticalement, tout en pouvant effectuer un zoom sur leur cible.

Pour un suivi de cible efficace, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs éléments intrinsèques à la caméra (ou à la lumière dans le cadre de ce projet) : le délai des actionneurs et le délai préalable des algorithmes de détection. Il est par ailleurs nécessaires d'avoir un accès fin aux servomoteurs de la caméra PTZ, ce pourquoi les caméras commerciales ne sont pas un choix des plus judicieux pour un suivi efficace. Une étude fine de [8] indique qu'une caméra PTZ a un délai de latence entre 20 cs et 45 cs et un temps de déplacement allant de 20 cs à 70 cs pour une commande de déplacement angulaire allant de 5° à 45° comme le montre la Figure 8.

Dès lors, il est nécessaire de considérer 4 délais de nature différente :

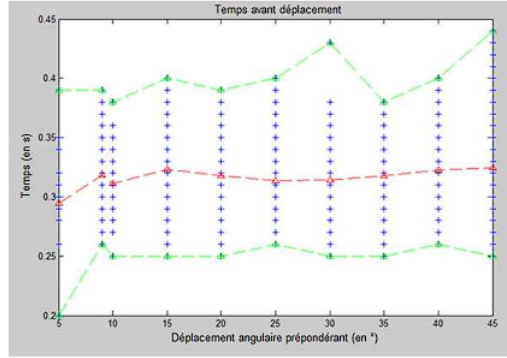


FIGURE 1 – Temps de latence mesuré sur la PTZ AXIS 233D en fonction de la valeur maximale du déplacement angulaire demandé. La courbe rouge représente la valeur moyenne et les courbes vertes les valeurs minimales et maximales.

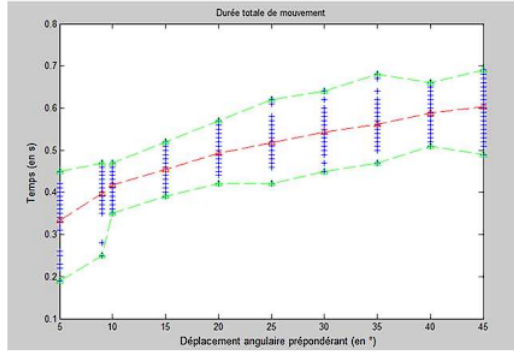


FIGURE 2 – Temps de déplacement mesuré sur la PTZ AXIS 233D en fonction de la valeur maximale du déplacement angulaire demandé (en pan ou en tilt). La courbe rouge représente la valeur moyenne et les courbes vertes les valeurs minimales et maximales.

FIGURE 8 – Délais intrinsèques à la PTZ Axis 233D

- τ_1 : Temps de transmission de l'image entre la PTZ et notre unité de traitement
- τ_2 : Temps de traitement de notre traqueur
- τ_3 : Temps de latence de la caméra
- τ_4 : Temps d'exécution réel de la commande envoyée à la PTZ

Le temps τ_2 est le seul dépendant du modèle de tracking en question, τ_3 et τ_4 dépendent uniquement du modèle de PTZ utilisée et ont été étudiés en détail ci-dessus, tandis que τ_1 dépend de la configuration réseau sachant que, en général $\tau_1 \ll \tau_2, \tau_3$ et τ_4

Concernant le suivi de cible, plusieurs approches sont possibles. La plus simple consiste à s'appuyer sur une moyenne glissante sur les vecteurs de mouvement les plus récents. Cette méthode fonctionne plutôt bien dans le cadre d'un suivi de cible avec une trajectoire plutôt lisse, cependant dans le cadre de ce projet où les mains de l'ouvrier

peuvent-être amenées à faire des mouvements brusques, il est préférable de s'orienter vers une méthode plus fiable quant au suivi de cible dans le cadre de trajectoire comportant des changements brusques de direction, méthode qui s'appuie sur l'utilisation d'un filtre de Kalman. Cette méthode offre des résultats bien plus intéressants comme le montre les sections 3.2 et 4. de [8]. Ceci est conforté par [9] qui s'intéresse en plus aux spécificités qui font que le suivi d'un objet peut-être rendu difficile par des changements de luminosité de distance à la caméra, mais cela ne rentre pas en jeu dans le cadre de ce projet. L'étude [8] montre de plus l'intérêt de contrôler la position prédite de la caméra une fois l'ordre donnée, de sorte à réduire au mieux l'erreur de ciblage de la caméra en prenant en compte les données les plus récentes qui lui sont parvenues.

Conclusion

La recherche approfondie sur les bras surnuméraires et la robotique d'assistance met en lumière des avancées significatives dans des domaines tels que la santé, l'ergonomie et la sécurité au travail. Les bras surnuméraires, en tant qu'extensions de la capacité humaine, offrent des solutions créatives aux défis humains, ouvrant des perspectives innovantes. L'émergence des cobots, améliore l'efficacité opérationnelle tout en garantissant la sécurité des travailleurs. La gestion des risques, avec des capteurs avancés, des algorithmes de planification de mouvement et des normes de sécurité, est essentielle pour une intégration sécurisée des bras robotiques dans des environnements de travail collaboratifs.

L'intégration de bras robotiques portés par l'utilisateur offre une flexibilité accrue, mais pose des défis en termes d'intégration fluide et sécurisée. La sécurité homme-machine, combinant des principes techniques et des mesures organisationnelles, est cruciale pour assurer la sécurité physique des opérateurs. L'étude des "démons" identifiés par Endsley met en évidence les risques potentiels liés à la coactivité homme-robot. La prise en compte de ces facteurs dans la conception des interfaces homme-machine est essentielle pour minimiser les erreurs humaines et optimiser la performance opérationnelle.

La détection de cibles et leur poursuite représentent un enjeu majeur. L'approche simplificatrice adoptée pour la détection de mains, basée sur l'utilisation de QR codes distincts sur chaque main, offre une solution robuste en surmontant des défis tels que l'occlusion et les variations d'éclairage. La détection précise des QR codes, essentielle pour le suivi des mains, est facilitée par l'utilisation de la bibliothèque OpenCV, assurant une intégration efficace. En ce qui concerne la poursuite de cible mobile, l'utilisation de caméras Pan-Tilt-Zoom (PLT) soulève des défis liés aux délais des actionneurs et aux algorithmes de détection, nécessitant une approche soignée pour garantir un suivi efficace. L'introduction du filtre de Kalman émerge comme une solution prometteuse pour le suivi de cible, offrant une fiabilité accrue, notamment dans des situations de mouvements brusques.

Références

- [1] Faye Y. Wu and H. Harry Asada *IEEE Transactions on Robotics*, 2016.
- [2] Baldin Llorens-Bonilla, Federico Parietti and H. Harry Asada "*Demonstration-based control of supernumerary robotic limbs*" *IROS*, 2012.
- [3] Federico Parietti, Kameron Chan and H. Harry Asada "*Bracing the human body with supernumerary robotic limbs for physical assistance and load reduction*", *ICRA*, 2014.
- [4] A Tran, S Somanath, E Sharlin "*Using Supernumerary Robotic Arms for Background Tasks*", 2018.
- [5] Mahdi Khoramshahi, Alexis Poignant, Guillaume Morel and Nathanael Jarrassé "*A Practical Control Approach for Safe Collaborative Supernumerary Robotic Arms*", *ARSO*, 2023.
- [6] E. Abdi, M. Bouri, S. Himidan, E. Burdet et H. Bleuler "*Third Arm Manipulation for Surgical Applications : An Experimental Study*", 2015.
- [7] Andrea S.Ciullo , Manuel G.Catalano , Arash Ajoudani, Antonio Bicchi "*Towards Supernumerary Robotic Limbs as Personal Protection Equipment*", 2020.
- [8] Pierrick Paillet, Romaric Audigier, Frédéric Lerasle, Quoc Cuong Pham. Contrôle de caméra PanTilt-Zoom réseau pour la poursuite d'une cible mobile. Orasis, *Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur*, Jun 2013, Cluny, France. fhal-00829309
- [9] Pierrick Paillet, Romaric Lionel Robinault. Détection et suivi d'objets mobiles par caméras fixes. Vision par ordinateur et reconnaissance de formes. *Université Lumière Lyon 2*, 2021. fftel-03274532f
- [10] Charles Fage, Jean-Marc Salotti. Analyse de Risques en Robotique : Apports de la Conscience de Situation *5ème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française* Janv, 2021
- [11] Mahdi Khoramshahi, Alexis Poignant, Guillaume Morel, Nathanael Jarrassé *Conference on Advanced Robotics and its Social Impact (ARSO 2023)*, 13 Apr 2023